



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO CIVIL

“Diseño de mezclas de concreto elaboradas con fibras metálicas, fibras de polipropileno y agregados procedentes de dos canteras; con uso potencial en el pavimento de la vía de enlace a la Subestación Villonaco”

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

AUTOR: Caraguay Ordóñez, Juan Carlos.

DIRECTOR: Zúñiga Suárez, Alonso Rodrigo, MSc.

LOJA – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Ingeniero

Alonso Rodrigo Zúñiga Suárez.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: **“Diseño de mezclas de concreto elaboradas con fibras metálicas, fibras de polipropileno y agregados procedentes de dos canteras; con uso potencial en el pavimento de la vía de enlace a la Subestación Villonaco”** realizado por Caraguay Ordóñez Juan Carlos ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, julio de 2015

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Caraguay Ordóñez Juan Carlos declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: “Diseño de mezclas de concreto elaboradas con fibras metálicas, fibras de polipropileno y agregados procedentes de dos canteras; con uso potencial en el pavimento de la vía de enlace a la Subestación Villonaco”, de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo Alonso Rodrigo Zúñiga Suárez director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Caraguay Ordóñez Juan Carlos

Cédula: 1105036113

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios nuestro padre celestial por cuidarme y darme la fortaleza necesaria para seguir en el camino a pesar de las adversidades presentadas.

De igual forma a mis padres Juan y Gladis, por su gran sacrificio y apoyo brindado, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A todas las personas que he conocido en esta etapa, con quienes hemos compartido muchas experiencias las cuales han dejado recuerdos imborrables, además de grandes enseñanzas.

Juan Carlos

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi sincero agradecimiento por el apoyo brindado a:

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a la Titulación de Ingeniería Civil, a sus docentes, especialmente a mi director de tesis Ing. Alonso Rodrigo Zúñiga Suárez por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

A mis padres por la entera confianza depositada en mí en todo este tiempo de formación profesional, quienes además me han concedido lo necesario para culminar esta meta.

A todos mis familiares, amigos y personas que me ayudaron de forma directa e indirectamente en la realización de este Trabajo de Fin de Titulación.

Juan Carlos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xviii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	3
1. ANTECEDENTES	4
1.1. Introducción.....	4
1.2. Alcance	4
1.3. Justificación.....	5
1.4. Objetivos de la investigación	5
1.4.1. Objetivo general.	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Metodología de investigación	6
1.6. Estructura del trabajo de fin de titulación	7
CAPÍTULO II	8
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. El hormigón	9
2.1.1. Tipos de hormigones.....	10
2.1.2. Propiedades del hormigón.....	11
2.1.2.1. Propiedades del hormigón fresco.....	12

2.1.2.2.	Propiedades del hormigón endurecido.....	14
2.1.3.	Curado del hormigón.....	23
2.1.4.	Componentes del hormigón.....	25
2.1.4.1.	Agregados.....	25
2.1.4.2.	Cemento.....	28
2.1.4.3.	Agua.....	30
2.1.4.4.	Aditivos.....	31
2.2.	Fibras como refuerzo en el hormigón.....	32
2.2.1.	Tipos y propiedades de fibras utilizadas para hormigones.....	34
2.2.1.1.	Fibra de Polipropileno.....	35
2.2.1.2.	Fibra de acero.....	37
2.2.2.	Factores influyentes en el comportamiento mecánico del HRF.....	39
2.2.2.1.	Influencia de la longitud de la fibra.....	39
2.2.2.2.	Influencia de la orientación y concentración de la fibra.....	42
2.3.	Dosificación del hormigón.....	43
2.3.1.	Método de dosificación del ACI.....	44
	CAPÍTULO III.....	52
	3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....	53
3.1.	Selección de agregados.....	53
3.1.1.	Cantera río Boquerón.....	53
3.1.2.	Cantera río Malacatos.....	53
3.2.	Selección del cemento.....	55
3.3.	Selección del aditivo.....	55
3.4.	Selección de fibras.....	56
3.4.1.	Fibra de Polipropileno.....	57
3.4.2.	Fibra Metálica.....	58
	CAPÍTULO IV.....	60
	4. INVESTIGACIÓN REALIZADA Y RESULTADOS.....	61
4.1.	Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.....	61

4.1.1. Análisis granulométrico.	61
4.1.2. Presencia de limo y arcilla.	63
4.1.3. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción.	64
4.1.3.1. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción para el agregado grueso.	65
4.1.3.2. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción para el agregado fino.....	66
4.1.4. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) en el agregado fino y grueso	67
4.1.5. Resistencia a la abrasión o al desgaste del agregado grueso.	69
4.1.6. Contenido de humedad en los agregados.	71
4.2. Diseño de mezclas de hormigón para probetas de prueba sin fibra.....	72
4.2.1. Diseño de mezclas con agregados de la cantera río Boquerón.	73
4.2.1.1. Preparación de las probetas de prueba	76
4.2.1.2. Análisis del hormigón elaborado.	76
4.2.1.3. Elección de la dosificación apropiada.	77
4.2.2. Diseño de mezclas con agregados de la cantera río Malacatos.	79
4.2.2.1. Preparación de las probetas de prueba.	82
4.2.2.2. Análisis del hormigón elaborado.	82
4.2.2.3. Elección de la dosificación apropiada.	83
4.3. Diseño de mezclas de hormigón para probetas de prueba con fibra	85
4.3.1. Concentraciones de fibra en el hormigón.	85
4.3.1.1. Concentración de fibra de polipropileno.	85
4.3.1.2. Concentración de fibra metálica.....	86
4.3.2. Preparación de las probetas de prueba con fibra.	87
4.3.3. Análisis del hormigón elaborado.....	88
4.3.4. Selección de la concentración de fibra	88
4.4. Elaboración de especímenes finales en la investigación	91
4.4.1. Determinación del número total de especímenes.	91
4.4.1.1. Probetas cilíndricas.....	91
4.4.1.2. Vigas de hormigón.....	91
4.4.2. Elaboración y toma de muestras de los especímenes.	92

4.4.3. Curado de especímenes de hormigón.....	94
4.4.4. Propiedades mecánicas en especímenes finales de hormigón.....	94
4.4.4.1. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.....	94
4.4.4.2. Resistencia a la flexión de vigas.....	95
4.4.4.3. Resultados de los ensayos de laboratorio de especímenes finales.....	96
CAPÍTULO V.....	97
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	98
5.1. Análisis estadístico para control de calidad.....	98
5.2. Comparación de resistencias en hormigones con fibra y sin fibra.....	100
5.2.1. Especímenes elaborados con agregados de la cantera río Boquerón.....	100
5.2.2. Especímenes elaborados con agregados de la cantera río Malacatos.....	102
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
6.1. Conclusiones.....	105
6.2. Recomendaciones.....	107
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
8. ANEXOS.....	110
ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS.....	111
RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN.....	112
RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS.....	122
ANEXO II. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN PROBETAS DE PRUEBA SIN FIBRA.....	132
RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN.....	133
RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS.....	137
ANEXO III. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN PROBETAS DE PRUEBA CON FIBRA.....	140
RESULTADOS DE PROBETAS CON FIBRA DE POLIPROPILENO.....	141
RESULTADOS DE PROBETAS CON FIBRA METÁLICA.....	144

ANEXO IV. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN ESPECÍMENES FINALES	147
RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN	148
RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS	163
ANEXO V. CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.....	178
RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN.....	179
RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS	182
ANEXO VI. ANEXO FOTOGRÁFICO	185

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Estados de consistencia del hormigón en función del asentamiento.	14
Tabla 2.2. Porcentajes de resistencia a la compresión del hormigón a diferentes edades. ...	16
Tabla 2.3. Factor de corrección para la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos.	19
Tabla 2.4. Resistencia característica a la compresión cuando no hay datos para establecer la desviación estándar.	19
Tabla 2.5. Relación entre la resistencia a la compresión ($f'c$), la resistencia a la tracción indirecta (f_t) y el módulo de rotura (MR) para hormigones de uso general	22
Tabla 2.6. Módulos de elasticidad para diferentes resistencias.....	23
Tabla 2.7. Límites máximos permisibles de sustancias dañinas en el agregado grueso.	26
Tabla 2.8. Límites máximos permisibles de sustancias dañinas en el agregado fino.	28
Tabla 2.9. Propiedades mecánicas de las fibras de polipropileno.	36
Tabla 2.10. Propiedades mecánicas de las fibras de acero.	38
Tabla 2.11. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.....	46
Tabla 2.12. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.	47
Tabla 2.13. Relación agua/cemento máxima para condiciones de exposición.	48
Tabla 2.14. Dependencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto.....	49
Tabla 2.15. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón.....	50
Tabla 3.1. Propiedades físicas y químicas de los cementos fabricados por Holcim Ecuador S.A.....	55
Tabla 3.2. Longitudes recomendadas de fibra en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso.....	57
Tabla 3.3. Propiedades físicas y mecánicas de la fibra EPS Fibratex.	58
Tabla 3.4. Nomenclatura fibras de acero Dramix.	59
Tabla 3.5. Fibras de acero Dramix existentes en el mercado.....	59
Tabla 3.6. Propiedades de la fibra de acero Dramix RC65/60BN.....	59
Tabla 4.1. Módulo de finura (MF) del agregado fino.....	63
Tabla 4.2. Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso.....	63
Tabla 4.3. Porcentajes de material más fino que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200) en los agregados investigados	64
Tabla 4.4. Valores obtenidos de densidades y absorción del agregado grueso.	66
Tabla 4.5. Valores obtenidos de densidades y absorción del agregado fino.	67
Tabla 4.6. Valores de masa unitaria suelta y compactada de los agregados investigados...	69

Tabla 4.7. Gradación de la muestra de ensayo.....	70
Tabla 4.8. Carga abrasiva en función de la gradación del agregado.....	70
Tabla 4.9. Valores obtenidos de resistencia a la abrasión del agregado grueso.....	71
Tabla 4.10. Resultados de ensayos realizados a los agregados de la cantera río Boquerón.	73
Tabla 4.11. Dosificación de prueba con agregados de la cantera río Boquerón.....	75
Tabla 4.12. Material requerido para elaborar nueve probetas cilíndricas.....	76
Tabla 4.13. Dosificaciones de prueba con distintas relaciones agua/cemento para agregados de la cantera río Boquerón.....	77
Tabla 4.14. Comparación de resistencias obtenidas entre las dosificaciones diseñadas con agregados de la cantera río Boquerón.....	77
Tabla 4.15. Dosificación apropiada para lograr $f'c= 35$ MPa a los 28 días con agregados de la cantera río Boquerón.....	78
Tabla 4.16. Resultados de ensayos realizados a los agregados de la cantera río Malacatos.	79
Tabla 4.17. Dosificación de prueba con agregados de la cantera río Malacatos.....	81
Tabla 4.18. Material requerido para elaborar nueve probetas cilíndricas.....	82
Tabla 4.19. Dosificaciones de prueba con distintas relaciones agua/cemento para agregados de la cantera río Malacatos.....	83
Tabla 4.20. Comparación de resistencias obtenidas entre las dosificaciones diseñadas con agregados de la cantera río Malacatos.....	83
Tabla 4.21. Dosificación apropiada para lograr $f'c= 35$ MPa a los 28 días con agregados de la cantera río Malacatos.....	84
Tabla 4.22. Material requerido para elaborar doce probetas cilíndricas.....	87
Tabla 4.23. Cantidades en peso de la fibra de polipropileno por cada concentración.....	87
Tabla 4.24. Cantidades en peso de la fibra metálica por cada concentración.....	88
Tabla 5.1. Parámetros estadísticos obtenidos con probetas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón.....	99
Tabla 5.2. Parámetros estadísticos obtenidos con probetas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos.....	99
Tabla 5.3. Promedio de resistencias obtenidas en especímenes fabricados con agregados de la cantera río Boquerón.....	100
Tabla 5.4. Promedio de resistencias obtenidas en especímenes fabricados con agregados de la cantera río Malacatos.....	102
Tabla 8.1. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con una relación $a/c= 0,38$ para agregados de la cantera río Boquerón.....	133

Tabla 8.2. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con una relación $a/c= 0,35$ para agregados de la cantera río Boquerón.	134
Tabla 8.3. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con una relación $a/c= 0,32$ para agregados de la cantera río Boquerón.	135
Tabla 8.4. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con una relación $a/c= 0,30$ para agregados de la cantera río Boquerón.	136
Tabla 8.5. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con una relación $a/c= 0,38$ para agregados de la cantera río Malacatos.....	137
Tabla 8.6. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con una relación $a/c= 0,35$ para agregados de la cantera río Malacatos.....	138
Tabla 8.7. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con una relación $a/c= 0,32$ para agregados de la cantera río Malacatos.....	139
Tabla 8.8. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con fibra de polipropileno en una concentración de $0,91 \text{ kg/m}^3$	141
Tabla 8.9. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con fibra de polipropileno en una concentración de $1,37 \text{ kg/m}^3$	142
Tabla 8.10. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con fibra de polipropileno en una concentración de $1,82 \text{ kg/m}^3$	143
Tabla 8.11. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con fibra metálica en una concentración de $15,68 \text{ kg/m}^3$	144
Tabla 8.12. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con fibra metálica en una concentración de $39,20 \text{ kg/m}^3$	145
Tabla 8.13. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'c= 35$ MPa con fibra metálica en una concentración de $62,72 \text{ kg/m}^3$	146
Tabla 8.14. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	148
Tabla 8.15. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	149
Tabla 8.16. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	150
Tabla 8.17. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra.....	152

Tabla 8.18. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	153
Tabla 8.19. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	154
Tabla 8.20. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	155
Tabla 8.21. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno.	157
Tabla 8.22. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.....	158
Tabla 8.23. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.....	159
Tabla 8.24. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.....	160
Tabla 8.25. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica.	162
Tabla 8.26. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	163
Tabla 8.27. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	164
Tabla 8.28. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	165
Tabla 8.29. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra.	167
Tabla 8.30. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	168

Tabla 8.31. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	169
Tabla 8.32. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.	170
Tabla 8.33. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno.....	172
Tabla 8.34. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.....	173
Tabla 8.35. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.....	174
Tabla 8.36. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica y diseñadas para $f'c= 35$ MPa.....	175
Tabla 8.37. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica.	177
Tabla 8.38. Determinación de la resistencia característica del hormigón ($f'cr$) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra.....	179
Tabla 8.39. Determinación de la resistencia característica del hormigón ($f'cr$) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno.	180
Tabla 8.40. Determinación de la resistencia característica del hormigón ($f'cr$) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica.....	181
Tabla 8.41. Determinación de la resistencia característica del hormigón ($f'cr$) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra.	182
Tabla 8.42. Determinación de la resistencia característica del hormigón ($f'cr$) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno.	183
Tabla 8.43. Determinación de la resistencia característica del hormigón ($f'cr$) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica.....	184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de metodología de investigación	6
Figura 2.1. Cono de Abrams para determinar la consistencia	13
Figura 2.2. Definición resistencia característica el hormigón.....	17
Figura 2.3. Ensayo para determinación del módulo de rotura del hormigón, (a) viga con carga en el punto central, (b) viga con carga en los tercios.....	21
Figura 2.4. Efecto de las condiciones de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón.....	24
Figura 2.5. Curvas típicas de esfuerzo – deformación para hormigón reforzado con fibras.	34
Figura 2.6. Formas geométricas comerciales de fibras de acero.	37
Figura 2.7. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción.....	40
Figura 2.8. Perfiles esfuerzo-posición cuando la longitud de la fibra l es (a) igual a la longitud crítica, (b) mayor que la longitud crítica y (c) menor que la longitud crítica en un compuesto reforzado con fibra y sometido a un esfuerzo de tracción igual a la resistencia a la tracción f_t de la fibra.	41
Figura 2.9. Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineadas y (c) discontinuas y orientadas al azar.	42
Figura 2.10. Diagrama de flujo del método de dosificación del Instituto Americano del Concreto (ACI).....	45
Figura 3.1. Ubicación cantera río Boquerón.....	54
Figura 3.2. Ubicación cantera río Malacatos.	54
Figura 3.3. Presentación de aditivo plastificante Aditec 100N	56
Figura 4.1. Estados de humedad de los agregados.	72
Figura 4.2. Diseño de mezclas método ACI diseñadas para lograr probetas con $f'_c= 35$ MPa para agregados de la cantera río Boquerón.....	78
Figura 4.3. Diseño de mezclas método ACI diseñadas para lograr probetas con $f'_c= 35$ MPa para agregados de la cantera río Malacatos.	84
Figura 4.4. Gráfica comparativa del promedio de resistencias a compresión obtenidas con distintas concentraciones de fibra de polipropileno en probetas de prueba diseñadas para $f'_c= 35$ MPa.....	89
Figura 4.5. Gráfica comparativa del promedio de resistencias a compresión obtenidas con distintas concentraciones de fibra metálica en probetas de prueba diseñadas para $f'_c= 35$ MPa.	90

Figura 5.1. Gráfica comparativa de resistencias a la compresión obtenidas en probetas cilíndricas de hormigón con y sin fibra diseñadas para $f'c = 35$ MPa elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón.....	101
Figura 5.2. Gráfica comparativa de resistencias a la flexión (Módulo de rotura) obtenidas en vigas de hormigón con y sin fibra elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón.	102
Figura 5.3. Gráfica comparativa de resistencias a la compresión obtenidas en probetas cilíndricas de hormigón con y sin fibra diseñadas para $f'c = 35$ MPa, elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos.	103
Figura 5.4. Gráfica comparativa de resistencias a la flexión (Módulo de rotura) obtenidas en vigas de hormigón con y sin fibra elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos.	104

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 8.1. Fibra de polipropileno	186
Fotografía 8.2. Fibra metálica.	186
Fotografía 8.3. Desmoldado de probetas cilíndricas.	186
Fotografía 8.4. Desmoldado de vigas.	187
Fotografía 8.5. Curado de probetas cilíndricas.....	187
Fotografía 8.6. Curado de vigas.....	187
Fotografía 8.7. Ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas.	188
Fotografía 8.8. Preparación de vigas para ser ensayadas.	188
Fotografía 8.9. Ensayo de resistencia a flexión en vigas apoyadas en los extremos y cargadas en los tercios de la luz libre.	188

RESUMEN

En las últimas tres décadas se ha demostrado la bondad del hormigón reforzado con fibras, sin embargo, cuándo se trata de aplicaciones específicas, los esfuerzos se concentran en reducir costos. Para esto se explora el uso de fibras y agregados de diferente naturaleza que puedan conducir al logro de un hormigón de alta prestación y de bajo costo.

La presente investigación tiene como propósito estudiar el efecto de la adición de fibras en el hormigón a ser utilizado en la pavimentación de vías secundarias. El concreto tuvo una resistencia a la compresión especificada de 35 MPa. Se usó agregados obtenidos de dos canteras, río Boquerón (material canto rodado) y río Malacatos (material triturado), ambas localizadas en la Provincia de Loja.

Inicialmente se realizaron ensayos a los agregados, para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los mismos. Seguidamente utilizando la metodología propuesta por el A.C.I. se procedió a realizar el diseño de un hormigón de 35 MPa a los 28 días. A esta dosificación se añadieron tres concentraciones de fibra, de polipropileno y metálica, con el fin de establecer y seleccionar la concentración más adecuada que proporcione mejoras en las características mecánicas del hormigón. Finalmente se elaboraron: probetas cilíndricas y vigas con el fin de probar la resistencia a la compresión y a la flexión del hormigón, respectivamente.

Se determinó que la concentración más adecuada de fibra por cada metro cúbico de hormigón que, en el caso de la fibra de polipropileno fue de 1,37 kg y para la fibra metálica fue de 39,20 kg. Obtenidos los resultados de las resistencias investigadas en el hormigón se establece, que en agregados de material canto rodado el incremento relativo de la resistencia a compresión y flexión en especímenes con fibras de polipropileno fue de 4 % y 6,9 % respectivamente, y con fibras metálicas fue de 9,8 % y 14,2 % respectivamente; en cambio, en agregados de material triturado, el incremento relativo de la resistencia a compresión y flexión en especímenes con fibras de polipropileno fue 8 % y 6,1 % respectivamente, mientras que con fibras metálicas fue de 13,5 % y 27,9 % respectivamente.

Palabras clave: agregados, diseño de mezclas de hormigón, fibra de polipropileno, fibra metálica, resistencia a compresión, resistencia a flexión.

ABSTRACT

Over the past three decades, It has been demonstrated the goodness of the concrete reinforced with fibers, however, when we deal with specific applications, all the efforts are concentrated on reducing costs. For this, we used fibers and aggregates of different nature to achieve a concrete of high performance and low cost.

This research aims to study the effect of fibers addition and the type of aggregates in concrete to be used for paving secondary pathways. The prepared concrete shows a compression toughness of 35 MPa. Aggregates were used from two quarries located in the province of Loja: aggregate with rounded edge from the Boquerón River and shredded aggregates from the Malacatos River.

The aggregates were characterized for their physical and mechanical properties. The methodology proposed by the ACI was used to design mixtures and achieving the components dosage to reach the required compression strength at the 28 days. Three different fiber concentrations were used to prepare concrete and so to be able to select the most suitable amounts of fibers to get improvements in the mechanical properties of the concrete. They were prepared cylindrical specimens and beams that later we evaluated to knowing their compressive and flexural strength.

It was determined that the most convenient concentration of polypropylene fiber is 1,37 kg per cubic meter and 39,20 kg per cubic meter for metal fiber. With rounded edges aggregate and polypropylene fibers the relative increase in compressive and flexural strength was of 4 % and 6,9 %, respectively. While with rounded edges aggregate and metal fibers it was 9,8 % and 14,2 %, respectively. With shredded aggregates and polypropylene fibers the relative increase in compressive and flexural strength was 8 % and 6,1 %, respectively. While with shredded aggregates and metal fibers it was 13,5 % and 27,9 %, respectively.

Keywords: aggregates, concrete mix design, polypropylene fiber, metal fiber, compressive strength, flexural strength.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1. Introducción

El hormigón, en la industria de la construcción, es uno de los materiales indispensables y uno de los más importantes para las consideraciones de diseño y costo de las obras civiles que se proyectan y ejecutan.

Debido a su gran utilización, se hace necesario que el hormigón presente una calidad aceptable ya que esto es un factor determinante en la seguridad de una estructura, ésta se la puede conseguir con un correcto diseño de mezcla, un eficiente mezclado, y un cuidadoso transporte y colocación del hormigón en la obra.

Los componentes que conforman el hormigón también influyen de gran manera en la calidad del mismo, lo cual hace necesario que se utilicen materiales de características apropiadas que cumplan con las especificaciones de las normativas técnicas pertinentes. Las propiedades físico-mecánicas de un hormigón también varían con respecto a la procedencia del material pétreo utilizado, y a la vez este material en función de su origen y composición mineralógica presentan diferentes características.

Adicionalmente, en los últimos años se ha demostrado la bondad del hormigón reforzado con fibras frente a las distintas exigencias que se presentan en la industria de la construcción, su uso ésta avanzando de forma rápida debido a varios aspectos, como las nuevas tendencias constructivas, al continuo aumento en el costo del acero estructural y sus derivados como refuerzo del hormigón, y a la gran diversidad de tipos de fibras que en la actualidad existen demostrando beneficios apropiados por lo que tienden a ser consideradas en la utilización del diseño de hormigones.

Conforme a lo mencionado, surge la necesidad de realizar diseños de mezclas de hormigón con la adición de fibras utilizando agregados de distinta naturaleza, para conseguir un hormigón de alta prestación que lo convierta en una alternativa a ser considerada en el pavimento de la vía de enlace a la Subestación Villonaco. Además con esta investigación se brindará información referente a esta línea de estudio.

1.2. Alcance

En este proyecto de investigación se cubre el diseño de un hormigón reforzado con fibras utilizando agregados propios de la región, como una alternativa para ser utilizado en el pavimento de la vía de enlace a la Subestación Villonaco, la misma que tiene una longitud

de 5,5 km que se extiende desde el km 11 de la vía antigua Loja – Catamayo hasta el enlace con los barrios Eucaliptos, el Plateado y Bolonia en la ciudad de Loja.

1.3. Justificación

La mayor parte de infraestructura vial del país se está construyendo con pavimento rígido debido a sus múltiples beneficios. Este tipo de pavimento ofrece una mayor vida útil, bajo costo de mantenimiento y características adicionales como: resistencia a la congelación, resistencia al desgaste, mayor permeabilidad y una mejor hermeticidad que lo hacen adecuado para su utilización en este tipo de obras.

La característica estructural más notable del hormigón es su resistencia a la compresión. Su “defecto” radica en su baja resistencia a la tracción, a los impactos, y a su susceptibilidad a los cambios de humedad. Un reforzamiento mediante fibras ofrece una alternativa conveniente, práctica y económica para superar estas “deficiencias”.

La incorporación de fibras como refuerzo en hormigones conduce al reforzamiento de muchas de sus propiedades, tales como, la resistencia a la flexión, tenacidad, fatiga, impacto, permeabilidad y resistencia a la abrasión.

Sin embargo, en la práctica las condiciones de trabajo del pavimento y los costos de los materiales pueden determinar la viabilidad de la alternativa que ofrecen los pavimentos de hormigón, y en este sentido, se requieren más estudios que orienten el uso del hormigón y fibras considerando las condiciones de trabajo y costos en este tipo de aplicaciones, aún más, si consideramos el uso extendido que se les está dando a este tipo de pavimentos en nuestro país.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general.

Estudiar el efecto de la adición de fibras metálicas y de polipropileno en el diseño de mezclas de concreto elaboradas con agregados procedentes de la cantera río Boquerón y río Malacatos, con uso potencial en la pavimentación de la vía de enlace a la Subestación Villonaco.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar las propiedades de los agregados a ser utilizados en el diseño de mezclas de hormigón.

- Determinar la dosificación para lograr un hormigón que a los 28 días despliegue una resistencia en compresión de 35 MPa.
- Determinar la concentración de fibra metálica y de polipropileno que permita obtener un hormigón con mejores propiedades mecánicas.
- Realizar los ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión de los hormigones diseñados con y sin fibra, así como con diferentes agregados.
- Analizar los resultados obtenidos para comprender la influencia de la adición de fibras y de diferentes agregados en el hormigón.

1.5. Metodología de investigación

Para cumplir con los objetivos de la investigación, se consideraron cuatro etapas: marco teórico, materiales utilizados, investigación realizada y resultados, y análisis y discusión de resultados, tal como se muestra en la Figura 1.1.

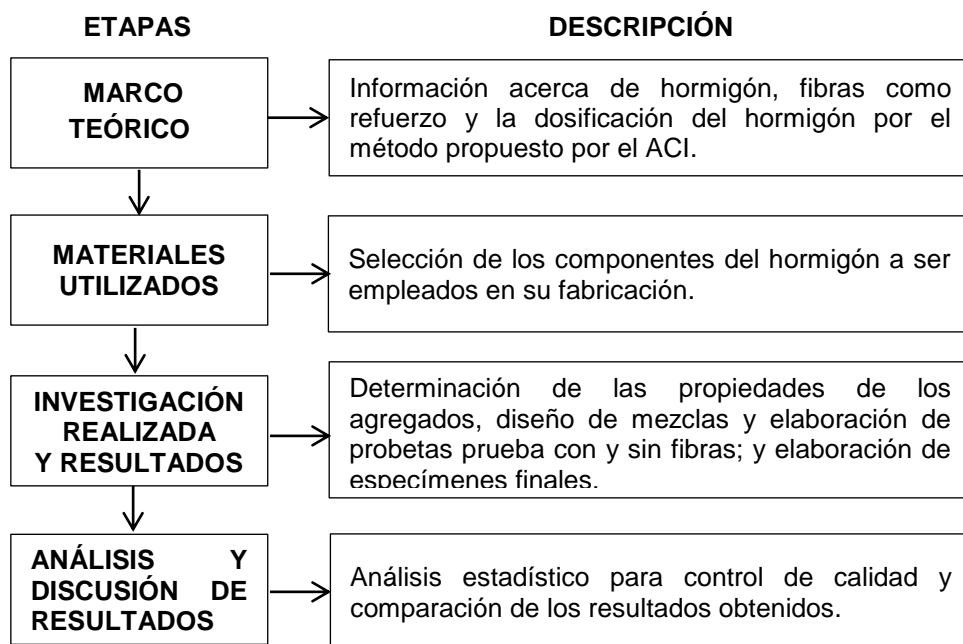


Figura 1.1. Esquema de metodología de investigación
Fuente: El Autor

El marco teórico tuvo por objeto la recopilación de información de investigaciones previas referentes a este tema que sirva para el desarrollo de la investigación. La información que se presenta es acerca del hormigón, las fibras de mayor utilización como refuerzo en el hormigón y la información de la dosificación del hormigón.

La siguiente etapa consistió en la selección de los materiales a ser utilizados en la fabricación de los hormigones, los cuales son: agregados, cemento, aditivo y fibras.

Además, se indica una breve descripción de cada uno de ellos, así como, de donde se los obtuvo.

Con el análisis de la información presentada en el marco teórico se procedió a realizar la parte experimental de la investigación, en donde, primero se realizan los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, luego se procede al diseño de mezclas de hormigón de prueba con y sin fibra, y finalmente con los diseños de mezclas definitivas se elaboran los especímenes finales que servirán para determinar las resistencias a compresión y a flexión del hormigón.

Finalmente, se realiza el análisis y discusión de los resultados. En esta etapa se hizo un análisis estadístico con los resultados de las resistencias a compresión lo que servirá para evaluar la calidad del hormigón que se elaboró. Además, se realizan las comparaciones de resistencias a compresión y a flexión obtenidas de los hormigones elaborados con y sin fibra y con los dos tipos de agregados.

1.6. Estructura del trabajo de fin de titulación

El trabajo está organizado en 6 capítulos. En el Capítulo 1 se mostró los antecedentes del tema. Luego, en el Capítulo 2, se presenta el marco teórico con la recopilación de información referente al tema de investigación. Posteriormente, en el Capítulo 3, se realiza la descripción de las características de los materiales seleccionados para la elaboración del hormigón. En el Capítulo 4, luego de la selección de los materiales se describe el desarrollo de la investigación, realizando la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados para luego efectuar los diseños de mezclas y elaborar los especímenes para establecer las propiedades mecánicas del hormigón. En el Capítulo 5, se realiza el análisis y la discusión de los resultados que se obtuvieron luego del desarrollo del trabajo. Finalmente, en el Capítulo 6, se exponen las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El hormigón

El hormigón es un material de construcción que está compuesto básicamente por áridos, que cumplan ciertas condiciones con respecto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidos entre sí por una pasta aglomerante hidráulica formada por un conglomerante (cemento) y agua. A este material al momento de su amasado, se le puede realizar adiciones (hasta un 35 % del peso de cemento, dependiendo del tipo de adición) y aditivos (<5 % del peso de cemento), la finalidad de las adiciones y de los aditivos es mejorar alguna de las propiedades del hormigón (Villarino, 2011, pág. 83).

Algunas de las adiciones que se emplean para el hormigón son: puzolanas naturales, cenizas volantes, escoria de alto horno, polvo de sílice y fibras; en cambio, con respecto a los aditivos existe una gran diversidad algunos de estos son: aceleradores, retardadores de fraguado, impermeabilizantes y plastificantes (Hernández y Gil, 2007).

El hormigón es un material resistente a los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos como el de tracción, flexión, cortante, etc. Por tal razón, para aprovechar sus fortalezas y superar sus limitaciones, en estructuras se utiliza el hormigón combinado con barras de acero resistente a la tracción, lo que se conoce como hormigón armado, o combinado con cables tensados de acero de alta resistencia, lo que se identifica como hormigón pre-esforzado; comportándose el conjunto muy favorablemente ante las diversas sollicitaciones (Romo, 2008).

Debido a la consistencia plástica del hormigón en estado fresco, le permite adaptarse fácilmente a una gran variedad de moldes, adquiriendo formas arbitrarias de dimensiones variables.

Blanco (2010) señala las principales funciones que desempeñan cada uno de los componentes del hormigón, así como su contenido en porcentaje de volumen:

❖ **Cemento (conglomerante):** 10 – 15 %

- Llenar los huecos del árido, aglomerándolo.
- En estado fresco lubrica la pasta y da cohesión.
- La pasta endurecida cierra los huecos del árido dando impermeabilidad.
- Proporciona resistencia al hormigón endurecido.

- ❖ **Áridos granulares (arena + grava):** 65 – 75 %
 - Forma el esqueleto inerte que da rigidez para resistir acción de cargas, resistir abrasión y el clima proporcionando durabilidad.
 - Mejora estabilidad dimensional al reducir cambios de volumen de la pasta.

- ❖ **Agua:** 15 – 20 %
 - Confiere plasticidad en estado fresco.
 - Hidrata el conglomerante.
 - Curado del hormigón en ambiente saturado.

- ❖ **Aire ocluido:** 1 – 2 %
- **Aditivos y adiciones (eventuales):** % variable

2.1.1. Tipos de hormigones.

Las obras civiles de construcción, una vez que se proyectan, deben establecer en sus especificaciones constructivas distintos aspectos como: las dimensiones de los elementos, el tipo de hormigón lo que involucra la calidad del árido y del cemento a emplear, los aditivos y el acero a colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar la estructura de hormigón. Es por tal razón que existen distintos tipos de hormigones con la finalidad de satisfacer los requerimientos de un proyecto.

Los hormigones de forma general se los puede clasificar por su densidad, por su composición y en función de su armado (Villarino, 2011).

➤ **Clasificación por su densidad.**

La densidad del hormigón varía dependiendo de la cantidad, la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y de las cantidades de agua y cemento. Los hormigones pueden clasificarse por su densidad en:

- **Hormigón ligero:** de 1200 a 2000 kg/m³
- **Hormigón normal:** de 2000 a 2800 kg/m³
- **Hormigón pesado:** más de 2800 kg/m³

➤ **Clasificación por su composición.**

La clasificación de los hormigones, por su composición, se refiere al tipo de áridos y cemento utilizados para su fabricación, éstos pueden ser:

- **Hormigón ordinario:** es el hormigón elaborado con áridos que presentan una curva granulométrica continua, teniendo áridos gruesos y finos en proporciones adecuadas.
- **Hormigón sin finos:** son hormigones en los que no existe el árido fino o las fracciones más finas de este, son porosos y filtran el agua.
- **Hormigón ciclópeo:** es el hormigón ordinario al que se le añaden, durante su puesta en obra, áridos de un tamaño mayor de 30 cm de diámetro.
- **Hormigón ligero:** es el hormigón donde el árido grueso es de baja densidad como la pumita, escorias granuladas, arcillas expansivas y otras.
- **Hormigón pesado:** es el hormigón compuesto de conglomerante y árido de alta densidad, se usa en estructuras o muros para impedir radiaciones.

➤ **Clasificación en función a su armado.**

Los hormigones con respecto al sistema constructivo de una estructura se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Hormigón en masa:** es un sistema constructivo que puede ser considerado como estructural o no estructural, que emplea hormigón sin armadura o con esta en una cantidad y disposición muy pequeña, apto para resistir compresiones.
- **Hormigón armado:** es un sistema constructivo estructural, donde el hormigón lleva incorporado una armadura metálica dispuesta como barras de acero corrugado brindándole refuerzo, con el objetivo de resistir los esfuerzos de tracción y flexión. Además el recubrimiento del hormigón, una vez fraguado, a la armadura le proporciona inoxidable y garantiza impermeabilidad de la estructura.
- **Hormigón pretensado:** es una variedad del hormigón armado cuyas barras de acero han sido tensadas antes que se produzca el fraguado del hormigón, con la finalidad de mejorar la resistencia ante grandes esfuerzos a la tracción.

2.1.2. Propiedades del hormigón.

La calidad de hormigón que se puede obtener se caracteriza principalmente por un conjunto de propiedades que se aprecian en la masa del hormigón fresco y en el hormigón ya fraguado y endurecido. Las primeras, las de hormigón fresco, influyen a la hora de construir,

ya que los métodos a emplear y las posibilidades de alcanzar las metas previstas dependen de estas propiedades. En cambio, las propiedades del hormigón endurecido son de suma importancia para definir las características alcanzadas en cada elemento constructivo.

2.1.2.1. Propiedades del hormigón fresco.

El hormigón fresco es un material esencialmente heterogéneo, en el cual existen tres fases: sólida (árido y cemento), líquida (agua) y gaseosa (aire ocluido).

La etapa de duración de este estado del hormigón es desde que abandona la amasadora u hormigonera hasta que se inicia el fraguado del cemento. El hormigón fresco tiene la facultad de poder moldearse, esto debido a estar en estado plástico.

Las principales propiedades que determinan la utilización del hormigón fresco son: la docilidad, la consistencia y la homogeneidad.

2.1.2.1.1. Docilidad.

La docilidad es la capacidad que presenta el hormigón fresco para ser manejado, transportado y colocado en obra con los medios de compactación normales. Está relacionada con la consistencia del hormigón, con su homogeneidad, con la trabazón de sus componentes y con la mayor o menor facilidad de la masa para eliminar el aire atrapado (Blanco, 2010).

Algunos de los factores de los cuales depende la docilidad son:

- **Contenido de agua:** es el factor de mayor influencia y de función directa, pues a mayor cantidad de agua mayor será la docilidad. Se debe conseguir una correspondencia óptima entre docilidad y resistencia necesaria, tomando en cuenta que un exceso de agua provoca disminución en la resistencia e impermeabilidad.
- **Forma del árido:** los áridos naturales (redondeados) aportan más docilidad que los de material triturado.
- **Tamaño y granulometría del árido:** a mayor cantidad de árido fino se obtiene mayor docilidad, pero también una mayor demanda de agua que conlleva a una disminución de la resistencia.
- **Contenido de cemento:** la docilidad aumenta con el contenido de cemento y con la finura de éste aumenta la cohesión y la rigidez.
- **Contenido de aditivo:** la utilización de plastificantes tienen como función aumentar la docilidad.

En general, los hormigones de alta docilidad se emplean en secciones pequeñas y muy armadas, en cambio, hormigones menos dóciles se utilizan en estructuras masivas, de grandes secciones y sin armar. Cabe aclarar que siempre se debe emplear la máxima docilidad compatible con el método disponible de puesta en obra.

2.1.2.1.2. Consistencia.

La consistencia caracteriza la facilidad que presenta el hormigón fresco a experimentar deformaciones, por lo tanto, es una propiedad física inherente al propio hormigón.

La consistencia depende fundamentalmente del agua de amasado, tamaño máximo del árido, de la granulometría y la forma de los áridos.

La medida de la consistencia de un hormigón fresco se puede realizar por diversos métodos, siendo el más práctico y económico el empleo del cono de Abrams. Éste, es un molde troncocónico metálico de 30 cm de altura, 10 cm de diámetro superior y 20 cm de diámetro inferior. El hormigón es colocado dentro del cono tal como se muestra en la Figura 2.1. La pérdida de altura experimenta la masa de hormigón fresca una vez desmoldada, con respecto a la altura del cono, expresada en centímetros, es la medida de su consistencia.

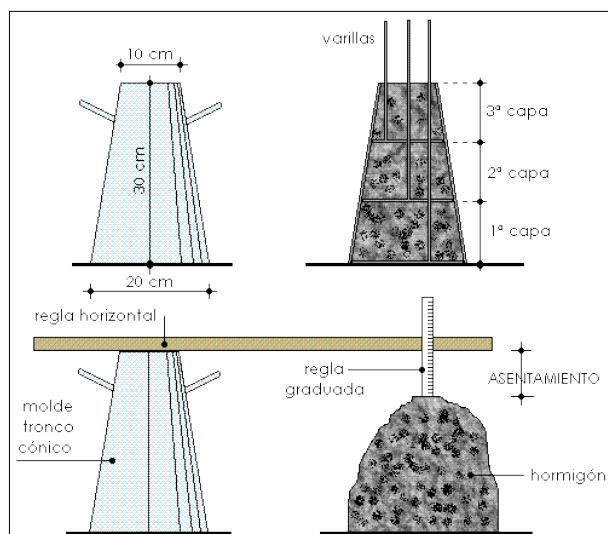


Figura 2.1. Cono de Abrams para determinar la consistencia del hormigón.

Fuente: Lorenzo, S. (sf). Tecnología del hormigón. Recuperado de <http://www.lorenzo servidor.com.ar/facu01/modulo6/modulo6.htm>

La pérdida de altura, denominada como “asentamiento” permite distinguir los tipos de estado de consistencia del hormigón los mismos que se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Estados de consistencia del hormigón en función del asentamiento.

Asentamiento (cm)	Consistencia
0 – 2	Seca
3 – 5	Plástica
6 – 9	Blanda
10 - 15	Fluida
> 16	Líquida

Fuente: Villarino, A. (2011). Ciencia y Tecnología de los Materiales. (pp.106)
Ávila - España: Escuela Politécnica Superior de Ávila.

2.1.2.1.3. Homogeneidad.

El hormigón al estar constituido por sólidos muy diferentes y de un líquido, es un material heterogéneo; sin embargo, al decir que un hormigón debe ser homogéneo éste debe ser uniformemente heterogéneo, es decir, que en cualquier volumen de su masa sus componentes deben estar perfectamente mezclados y en la proporción prevista al diseñar la mezcla (Romo, 2008).

La mezcla adecuada de los componentes del hormigón y la homogeneidad de la masa se logra en la amasadora mediante un correcto amasado, sin embargo, esta mezcla puede verse afectada durante el transporte, el vertido a los encofrados o moldes, en el paso a través de las armaduras y durante el compactado, dando lugar, a que los elementos constitutivos del hormigón tiendan a separarse unos de otros y a decantarse de acuerdo con su tamaño y densidad, lo que se conoce como segregación.

Los hormigones deben ser dóciles sin que presenten segregación, por lo tanto deben tener cohesión. La pérdida de homogeneidad en la mezcla de hormigón es menor en cuanto menor sea su cohesión, la cual se ve afectada por factores como: una inadecuada relación arena/grava, tamaño máximo del árido mucho mayor y cuando se presenta un alto contenido de agua.

2.1.2.2. Propiedades del hormigón endurecido.

Las propiedades del hormigón endurecido dependen de los componentes empleados en su elaboración, además de su edad y de las condiciones de temperatura y humedad a las que estuvo sujeto.

Entre las principales propiedades del hormigón endurecido podemos mencionar las siguientes:

- Permeabilidad
- Resistencia al desgaste
- Resistencia a compresión
- Resistencia a tracción
- Elasticidad
- Ductilidad

2.1.2.2.1. Permeabilidad.

La penetración de materiales en solución puede afectar adversamente la durabilidad del hormigón. Ésta penetración depende de la permeabilidad del hormigón y está determinada por la facilidad relativa con que el hormigón puede saturarse de agua, por tal razón, la permeabilidad se relaciona de gran manera con la vulnerabilidad del hormigón a la congelación (Rivera, 2009).

Se puede afirmar que todos los hormigones son más o menos permeables, ya que pierden agua de amasado y en su masa se originan poros microscópicos que facilitan la penetración de agua, en donde se pueden distinguir dos tipos: bajo presión y por capilaridad.

La permeabilidad del hormigón no es solamente función de su porosidad, sino que también depende del tamaño, distribución y continuidad de los poros. La composición del cemento afecta la permeabilidad en cuanto a su influencia sobre la rapidez de la hidratación.

Un hormigón con baja relación agua/cemento, buena gradación de los agregados, consistente y bien compactado es casi impermeable, lo que aumenta su duración.

2.1.2.2.2. Resistencia al desgaste.

La resistencia al desgaste es una propiedad importante y exigible en hormigones empleados en zonas de elevada fricción mecánica, como pavimentos de carreteras o interiores de construcciones de tipo industrial. Por lo tanto para conseguirlo se debe obtener un hormigón seco con la ayuda de arena silíceo y no caliza en una proporción mínima de 30 % de la arena total, puesto que la lechada superficial es un elemento débil, fácilmente desgastable y productor de polvo (Barros y Ramírez, 2012).

Otra forma de obtener una buena resistencia al desgaste es aplicando un revestimiento hecho con una mortero de cemento con árido fino especial, este puede ser, carborundo,

corindón, sílice, granalla de hierro inoxidable, etc. Se puede aplicar también endurecedores superficiales.

2.1.2.2.3. Resistencia a la compresión.

La resistencia a compresión es la propiedad mecánica importante y más frecuentemente medida en los hormigones debido a que muchas de sus otras propiedades están relacionadas con ella, de aquí, que su conocimiento nos dé un índice de su comportamiento frente a otras acciones (Villarino, 2011).

El hormigón generalmente trabaja a compresión, por tal razón, el conocimiento de su resistencia frente a esta sollicitación es de suma importancia.

Algunos de los factores que influyen de forma directa en la resistencia a compresión del hormigón son: los materiales empleados, la relación agua/cemento (siendo esta la más determinativa), el tamaño máximo del árido, la forma y dimensiones de las probetas y la edad de ensayo del hormigón.

Para evaluar la resistencia a compresión del hormigón se realizan ensayos a los 28 días, pero puede medirse a cualquier otra edad, más temprana o más tardía. Los ensayos que se realizan sobre las muestras de hormigón a otras edades, diferentes de la especificada, son útiles para conocer el desarrollo de la resistencia.

Tomando en consideración los múltiples factores que intervienen en el proceso de resistencia del hormigón, es muy difícil predecir la resistencia a una edad a partir de resultados obtenidos a edades más tempranas; por tal motivo se proporciona la Tabla 2.2. en donde se estiman los porcentaje de las resistencias a la compresión a distintas edades con respecto a la resistencia a los 28 días (Bañon, 2010).

Tabla 2.2. Porcentajes de resistencia a la compresión del hormigón a diferentes edades.

Edad del hormigón (días)	3	7	28	90	360
Hormigón con cemento portland normal (%)	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Hormigón con cemento portland de alta resistencia inicial (%)	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

Fuente: Bañon, L. (2010). Propiedades del Hormigón. (pp. 10). Alicante-España: Universidad de Alicante.

La resistencia a compresión del hormigón puede determinarse mediante ensayos destructivos y no destructivos. Los primeros, son los más utilizados en el control del hormigonado en sus diferentes fases realizándose sobre probetas de formas cilíndricas o cúbicas. La determinación de la resistencia a compresión obtenida en la rotura de estas probetas proporciona un índice de la calidad del hormigón que se está utilizando. Los ensayos no destructivos son pruebas in situ que sirven para estimar las propiedades del

hormigón y garantizar que un elemento de hormigón es estructuralmente adecuado para la función para la que ha sido diseñado.

En los ensayos destructivos la determinación de la resistencia a compresión se realiza en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, llevadas hasta la rotura mediante una carga continua, con una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.

La resistencia a compresión del hormigón depende de muchos factores, tales como: la masa de hormigón, forma y dimensiones de las probetas y a las condiciones en que se lleva a efecto el ensayo.

Siempre que se realiza el ensayo de compresión sobre varias probetas, procedentes de la misma masa de hormigón, se presentan variaciones entre los resultados obtenidos en la rotura de las mismas, lo que se debe a variaciones en la dosificación, mezcla, transporte, colocación, compactación y curado del hormigón. Ante ello, dada la variación existente entre los resultados, el tomar como resistencia del hormigón la media aritmética de los valores (f'_{cm}), no refleja la verdadera calidad del hormigón ya que no tiene en cuenta la dispersión de los resultados individuales obtenidos. Con el fin de conseguir un valor más aproximado a la realidad se ha adoptado un concepto denominado resistencia característica del hormigón, en la cual se tiene en cuenta la resistencia media (f'_{cm}) y la desviación estándar (s) de los resultados obtenidos en el ensayo. La resistencia característica (f'_{cr}) del hormigón es un valor que tiene un grado de confianza o fiabilidad del 95%, en donde existe una probabilidad del 5% de que se presenten valores más bajos que ella, lo que se puede observar en la Figura 2.2. (Blanco, 2010, pág. 238).

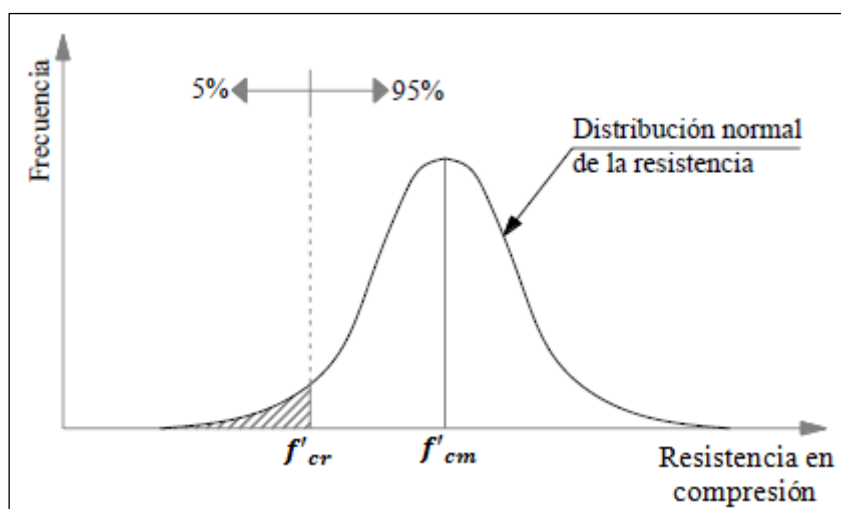


Figura 2.2. Definición resistencia característica el hormigón.

Fuente: Romo, M. (2008). Temas de Hormigón Armado. (pp. 14).

Quito-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejercito.

El ACI 318S-05 en su reporte “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural” proporciona, en base a registros de resistencias, las siguientes ecuaciones para el cálculo de la resistencia característica del hormigón.

a) Cuando se dispone de registros de resistencias de probetas

En base a la resistencia a la compresión especificada del hormigón, se dispone de las ecuaciones siguientes, asumiendo la que proporcione un valor mayor.

Para $f'_c \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$:

$$- f'_{cr} = f'_c + 1,34 s \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$- f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 35 \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Para $f'_c > 350 \text{ kgf/cm}^2$:

$$- f'_{cr} = f'_c + 1,34 s \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$- f'_{cr} = 0,90 f'_c + 2,33 s \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

f'_c = Resistencia a la compresión especificada

f'_{cr} = Resistencia característica requerida

s = Desviación estándar

La desviación estándar (s) está dada por la siguiente expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f'_{ci} - f'_{cm})^2}{(n - 1)}} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

f'_{ci} = Resultados de ensayos individuales.

f'_{cm} = Promedio de los n resultados de ensayos considerados.

n = Número de probetas ensayadas, se requiere un mínimo de 30 registros.

Si solo se dispone de 15 a 29 probetas ensayadas se debe corregir la desviación estándar (s) multiplicándola por un factor de corrección, el cual se indica en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Factor de corrección para la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos.

Número de ensayos *	Factor de corrección para la desviación estándar (δ) ** $s_{\text{corregido}} = s * \delta$
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 o más	1,00

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 194). Mexico: Grupo Apasco.

* Interpolarse para números intermedios de ensayos.

** La desviación estándar corregida se debe usar para determinar la resistencia característica f'_{cr} .

b) Cuando no se tiene registro de resistencia de probetas

Si no se dispone de datos de campo para calcular la desviación estándar se debe tomar el valor de la f'_{cr} de la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Resistencia característica a la compresión cuando no hay datos para establecer la desviación estándar.

Resistencia a la compresión especificada (f'_c) kgf/cm ²	Resistencia característica a la compresión (f'_{cr}) kgf/cm ²
Menos de 210	$f'_{cr} = f'_c + 70$
210 – 350	$f'_{cr} = f'_c + 84$
> 350	$f'_{cr} = 1,10f'_c + 50$

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 195). Mexico: Grupo Apasco.

2.1.2.2.4. Resistencia a la tracción.

El hormigón es un material de muy baja resistencia a la tracción. Ésta resistencia representa hasta un 10 % de su capacidad a la compresión, por ello este valor generalmente se desprecia en el cálculo resistente, sin embargo debe considerarse para evitar la fisuración (Romo, 2008).

Hay casos en los que el hormigón ha de trabajar a flexión como ocurre en pavimentos, en donde la resistencia a la tracción es la característica fundamental. La resistencia a la tracción puede determinarse por tres métodos: tracción directa (tracción axial), tracción por compresión diametral (tracción indirecta) y tracción por flexión (módulo de rotura). El ensayo

de tracción directa en la práctica no es práctico debido a su complejidad. En el caso de los pavimentos la resistencia a la tracción por flexión es la de mayor utilización.

- **Tracción directa (tracción axial)**

El ensayo de tracción directa consiste en una pequeña muestra con sección transversal rectangular normada, que presenta un ensanchamiento en los extremos longitudinales, lo que permite que las abrazaderas del equipo utilizado en la prueba ejerzan fuerzas de tracción de forma axial, que romperán a la muestra en el sector central más débil (por tener menor sección transversal).

- **Tracción por compresión diametral (tracción indirecta)**

En el ensayo de tracción por compresión diametral se utilizan probetas cilíndricas, iguales a las de compresión, que se colocan entre los platos de la prensa con su eje principal horizontal y se someten a compresión entre dos generatrices opuestas hasta que se produce la rotura según un plano diametral.

Este ensayo conocido también como Prueba Brasileña permite determinar el valor de la tracción indirecta (f_t) que puede correlacionarse en laboratorio con el módulo de rotura por flexo tracción (MR).

Romo (2008) sugiere utilizar la siguiente expresión para determinar un valor aproximado del esfuerzo máximo a tracción que puede soportar el hormigón:

$$f_t = 1.5 \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

f_t = Resistencia a tracción del hormigón (kgf/cm²).

f'_c = Resistencia a la compresión especificada del hormigón (kgf/cm²).

- **Tracción por flexión (módulo de rotura)**

La resistencia a la tracción por flexión se conoce como el módulo de rotura del hormigón. Éste ensayo se realiza utilizando probetas prismáticas (vigas), las cuales se apoyan sobre rodillos separados a tres veces la arista, ésta resistencia se puede determinar aplicando una carga en el punto central o con carga en los tercios en la parte superior de la viga, como se muestra en la Figura 2.3.

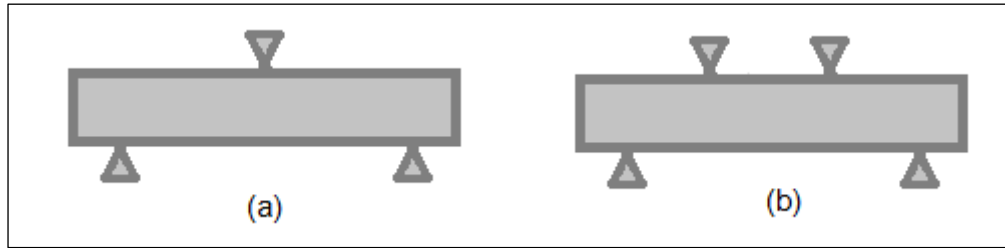


Figura 2.3. Ensayo para determinación del módulo de rotura del hormigón, (a) viga con carga en el punto central, (b) viga con carga en los tercios.

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 194). Mexico: Grupo Apasco.

En el primer caso, el momento flector máximo corresponde a la vertical que pasa por el punto de aplicación de la carga y por consiguiente afecta sólo al hormigón situado sobre esa línea, en el segundo, se tiene una zona central de momento flector constante con lo cual la rotura se producirá en el hormigón más débil de esta zona.

La carga en el punto central usualmente indica resistencias más altas pero produce más dispersión en los datos, por lo tanto, se ha recomendado que la carga sea aplicada en los tercios en la mayoría de los casos.

El Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto INECYC, en su Nota Técnica Control de Calidad en el Hormigón, Control por Resistencia Parte I (2009), señala las relaciones entre la resistencia a la compresión (f'_c), la resistencia a la tracción por compresión diametral (f_t) o tracción indirecta y la resistencia a la tracción por flexión o módulo de rotura (MR).

Una buena relación entre f_t y MR permite usar, para control en obra, probetas cilíndricas que son mucho más manejables que las vigas.

Las ecuaciones recomendadas para realizar las relaciones indicadas son (INECYC, 2009):

Adam M. Neville:

$$f_t = 0,3 * \sqrt[3]{(f'_c)^2} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$MR = 1,333 * f_t \quad \text{Ecuación 2.8}$$

American Concrete Institute:

$$MR = 0,392 * \sqrt[3]{(f'_c)^2} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Burg y Ost (1992):

$$f_t = 0,61 * \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

La Tabla 2.5 de relación de resistencias, consigna para cada valor de f'_c , valores de f_t calculados con la ecuación 2.7, de MR calculados con la ecuación 2.9, y en la cuarta columna la relación entre el MR y la resistencia a compresión (f'_c). Para valores de f'_c

mayores que 80 MPa se ha utilizado la ecuación 2.10 para calcular los valores de f_t y su relación con el MR se obtuvo con la ecuación 2.8.

Tabla 2.5. Relación entre la resistencia a la compresión (f'_c), la resistencia a la tracción indirecta (f_t) y el módulo de rotura (MR) para hormigones de uso general

f'_c MPa	f_t MPa	MR MPa	$\frac{MR}{f'_c}$
10	1.39	1.82	0.182
20	2.21	2.89	0.144
30	2.89	3.78	0.126
35	3.20	4.19	0.120
40	3.50	4.58	0.115
50	4.06	5.32	0.106
60	4.59	6.01	0.100
70	5.08	6.66	0.095
80	5.55	7.28	0.091
90	5.79	7.72	0.086
100	6.10	8.13	0.081
120	6.68	8.91	0.074

Fuente: INECYC. (2009). Control de calidad en el hormigón. Control por resistencia Parte I. (pp. 8). Quito-Ecuador: Imprenta NOCIÓN.

2.1.2.2.5. Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad es una medida de la rigidez, es decir, la resistencia del hormigón a la deformación, por lo que su conocimiento es importante para determinar la forma de trabajar en las estructuras en las que el hormigón va a formar parte.

El hormigón despliega su elasticidad, al igual que muchos otros materiales estructurales, en donde la deformación unitaria se incrementa con el tiempo por la aplicación de una carga sostenida, lo que representa que el hormigón fluye (Blanco, 2010).

El módulo de elasticidad " E_c " es directamente proporcional a la resistencia en compresión del hormigón (f'_c), es decir, a mayor resistencia a la compresión del hormigón su módulo de elasticidad incrementará de la misma forma.

El ACI propone una expresión conseguida experimentalmente como una forma aproximada de calcular el módulo de elasticidad del hormigón en función de la resistencia a la compresión del mismo:

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón, en kgf/cm²

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón, en kgf/cm²

La Tabla 2.6 muestra la resistencia de los hormigones utilizados con más frecuencia con su respectivo módulo de elasticidad.

Tabla 2.6. Módulos de elasticidad para diferentes resistencias

Resistencia a la compresión (f'_c) kgf/cm ²	Módulo de elasticidad (E_c) kgf/cm ²
210	217000
280	251000
350	281000
420	307000

Fuente: Romo, M. (2008). Temas de Hormigón Armado. (pp. 18). Quito-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

2.1.2.2.6. Ductilidad.

La ductilidad es la capacidad que tiene un material para continuar deformándose de manera no elástica a pesar de que los incrementos de carga sean mínimos, nulos e inclusive si existe una disminución de la carga (Romo, 2008).

Una medida cuantitativa de la ductilidad sería el cociente entre la deformación de rotura y la deformación máxima con comportamiento lineal elástico.

$$D_d = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_e} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde:

D_d = Índice de ductilidad por deformación

ε_u = Deformación unitaria de rotura

ε_e = Deformación unitaria elástica máxima.

Los índices de ductilidad por deformación del hormigón, decrecen considerablemente cuando aumenta su resistencia a la rotura. Además, es un excelente referente de la capacidad del hormigón para deformarse por encima de su límite de fluencia.

2.1.3. Curado del hormigón.

El curado es el proceso de mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el hormigón durante la hidratación de los materiales cementantes,

con el fin de aumentar la resistencia y durabilidad y en general todas las propiedades del hormigón en estado endurecido.

Una vez elaborados los especímenes, estos deben ser almacenados por un periodo de hasta 24 horas a una temperatura entre 16 °C y 27 °C, en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad. Además se debe proteger los especímenes de los rayos directos del sol o de cualquier radiación calórica con el fin de que desarrollen una resistencia adecuada para la transportación.

Cumplido este período se procede a desmoldar los especímenes y dentro de 30 minutos deben ser curados a una temperatura de 23 °C ± 2 °C, manteniendo todo el tiempo sus superficies con agua libre, utilizando tanques de almacenamiento o cámaras de curado.

Durante el curado, el desarrollo de las propiedades mecánicas es muy rápido en los primeros días, pero después continúa más lentamente por un largo período de tiempo como se puede apreciar en la Figura 2.4.

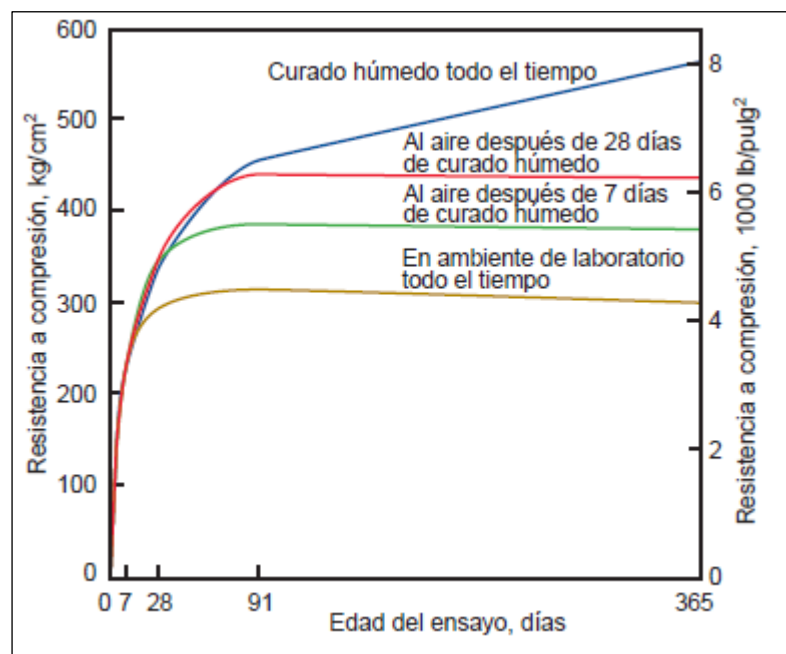


Figura 2.4. Efecto de las condiciones de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del hormigón.

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 261). Mexico: Grupo Apasco.

2.1.4. Componentes del hormigón.

2.1.4.1. Agregados.

Los agregados son materiales inertes que actúan como relleno y que representan entre el 60 al 80 % del volumen total del concreto. Los agregados intervienen directamente en las proporciones de la mezcla y el costo del concreto. Por ejemplo, el agregado con partículas alargadas y planas o con una textura rugosa necesita más agua para producir un concreto trabajable, que unas partículas redondas (cantos rodados). Asimismo el agregado con partículas que tienen formas angulosas necesitan más cemento para conservar la relación agua-cemento aumentando el costo de producción (Love, 2006).

La influencia de los agregados afecta no solo al acabado y calidad del concreto, sino también, a la trabajabilidad y consistencia (estado plástico); durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y el peso unitario.

Los agregados en la construcción deben ser partículas limpias, sólidas, fuertes y duraderas, libres de químicos y de recubrimientos de arcilla o de otros materiales finos que perjudiquen la unión de la pasta de cemento. Los materiales contaminantes que afectan a los agregados son tierra, sedimentos, arcilla, mica, sales y mantillo u otras materias orgánicas que pueden aparecer como un recubrimiento o como material fino suelto.

Los agregados son usados principalmente en la fabricación de mezclas de concreto, asfalto, mortero, como bases y sub-bases en la construcción de vías, drenajes o balasto para vías de ferrocarril.

Los agregados que se utilizan comúnmente son arena, grava, piedra triturada, escoria de fundición de altos hornos, cenizas, arcilla quemada y escoria expandida de altos hornos, entre otros.

Los agregados, generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pasan el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y queda retenido en el tamiz 75 μ m (No. 200); los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y pueden variar hasta 152 mm. Los tamaños máximos del agregado que se emplean comúnmente son de 19 mm y 25 mm.

▪ Agregado grueso.

El agregado grueso o grava es uno de los componentes básicos del hormigón, por lo que para garantizar buenos resultados en estructuras de hormigón el agregado grueso debe ser

de calidad. El agregado grueso debe ser durable, resistente, estar limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento apropiado.

Los agregados pueden ser utilizados en estado natural o pueden provenir de un proceso de trituración. El agregado grueso triturado presenta mejores características de adherencia que el agregado natural, ayudando a que el concreto pueda alcanzar una mayor resistencia.

El agregado grueso, como materia prima para la fabricación del concreto, se debe utilizar en mayor cantidad y tamaño posible para minimizar los requisitos de agua y reducir el contenido de cemento para una resistencia del hormigón especificada. Para resistencias de hasta 250 kgf/cm² se debe usar el mayor tamaño posible del agregado grueso para obtener una mayor resistencia dada (eficiencia). La eficiencia del hormigón es la relación entre la resistencia del hormigón y el contenido de cemento.

Debe evitarse el uso de agregados planos o alargados, ya que además de producir bajas masas unitarias y baja resistencia mecánica, tienen tendencia a colocarse horizontalmente formándose bajo su superficie bolsas de agua, las cuales dejan espacios vacíos luego de la evaporación del agua, afectando notablemente la resistencia del concreto.

El agregado debe presentar una adecuada distribución de los distintos tamaños del grano, cuya determinación se estudia mediante una curva granulométrica. Esta curva se obtiene cribando el agregado a través de una serie normalizada de tamices y de donde se obtendrán parámetros determinantes en la dosificación de la mezcla de concreto.

El agregado grueso deberá cumplir con los criterios de calidad expresados en la norma NTE INEN 872 o norma ASTM C-33. Asimismo los porcentajes de sustancias dañinas no deberán superar los límites que se describen en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Límites máximos permisibles de sustancias dañinas en el agregado grueso.

PARAMETRO	LIMITE MAXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	0,5
Materiales ligeros	1
Grumos de arcilla	0,5
Otras sustancias dañinas	1
Abrasión máquina de Los Ángeles	40

Fuente: Norma ASTM C-33.

Para la utilización del agregado grueso en obras de hormigón su tamaño no debe exceder de (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004):

- Un quinto de la dimensión más pequeña del elemento de concreto.
- Tres cuartas partes del espacio libre entre barras de refuerzo.
- Un tercio del espesor de la losa, para losas de pisos o pavimentos.

▪ **Agregado fino.**

La arena o agregado fino es otro de los componentes indispensables en el hormigón, sirve como material llenante y como lubricante entre los agregados gruesos brindándole operabilidad a la mezcla.

El agregado fino puede estar compuesto de arena natural proveniente de canteras aluviales, arena de trituración producida artificialmente o una combinación de ambas. La arena natural deberá estar constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables y la forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica. Para la arena de trituración no deben utilizarse rocas que se quiebren en partículas laminares, planas o alargadas, independientemente del equipo de procesamiento empleado.

Cuando una mezcla es áspera se debe a la falta de arena, mientras que, un exceso de arena hace que la mezcla se vuelva más cohesiva aumentando la cantidad de agua utilizada, lo que aumenta la cantidad de cemento para mantener una determinada relación agua – cemento y obtener el asentamiento especificado.

Para producir mezclas compactas el agregado fino debe tener una buena gradación de manera que puedan llenar todos los espacios en la mezcla. La presencia de materia orgánica en la arena a utilizarse en la mezcla de hormigón afecta al proceso de fraguado o endurecimiento del cemento.

Con respecto a la calidad del agregado fino, éste deberá cumplir con los criterios de calidad expresados en la norma NTE INEN 872 o ASTM C-33, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

Los porcentajes de sustancias dañinas no deberán superar los límites que se describen en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Límites máximos permisibles de sustancias dañinas en el agregado fino.

PARAMETRO	LIMITE MAXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	3
Materiales ligeros	1
Grumos de arcilla	3
Otras sustancias dañinas (álcalis, mica, limo)	2
Pérdida por meteorización	10

Fuente: Norma ASTM C-33.

2.1.4.2. Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, es un material inorgánico que presenta propiedades tanto adhesivas como cohesivas y que tiene la capacidad de fraguar y endurecerse al contacto con el agua por medio de reacciones químicas. Cuando se mezcla el cemento con agua se forma una masa similar a una piedra denominada pasta. La pasta funciona como adhesivo para unir los agregados (arena, grava) y crear el hormigón. Este es considerado como el material de construcción de mayor consumo y demanda en el mundo.

El cemento además es un componente decisivo en la plasticidad del hormigón en estado fresco y posteriormente en las características mecánicas del hormigón endurecido. Se puede utilizar cualquier cemento que cumpla con los requisitos establecidos para un hormigón tradicional siempre que sea capaz de proporcionar al hormigón las características que exige el proyecto. El cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón en el cemento Pórtland.

▪ **Cemento Pórtland.**

Este producto se obtiene por la pulverización del clinker en un proceso de calcinación de calizas y arcillas con la adición de yeso (sulfato de calcio) que actúa como retardante del fraguado. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el clinker.

El cemento Pórtland está compuesto principalmente por materiales calcáreos (carbonato de calcio) tales como caliza, alúmina y sílice que se encuentran como arcilla o pizarra; también se utiliza marga que es un material calcáreo-arcilloso. En los últimos años se ha incorporado material puzolánico, que puede estar en estado natural como tierra de diatomeas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, o material calcinado (los nombrados anteriormente y algunos como las arcillas y esquistos más comunes), o de material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas volantes).

La materia prima para la fabricación del cemento debe ser mezclada minuciosamente en una cierta proporción y sometida a un proceso de pulverización, para luego calcinarla en un horno giratorio de gran dimensión, a una temperatura de 1400 °C a 1550 °C, a la cual el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando pequeñas bolas conocidas como clinker. El clinker se enfría y seguidamente se adiciona yeso así como material puzolánico en cantidades controladas. Luego se tritura hasta obtener un polvo fino; dando como resultado el cemento Pórtland.

▪ **Tipos de cemento Pórtland.**

Los cementos están compuestos de diferentes componentes que adecuadamente dosificadas mediante un proceso de producción controlado, le dan al cemento las cualidades físicas, químicas y resistencias adecuadas al uso deseado.

Según su uso se diferencia distintos tipos de cementos Pórtland, éstos se producen de acuerdo con las especificaciones que se indican en la norma ASTM C150 - Especificación Normalizada para Cemento Pórtland, de donde se derivan los siguientes tipos de cemento:

- **TIPO I:** cemento de uso general, apropiado para todos los usos donde las propiedades especiales de otros cementos no sean necesarias.
- **TIPO II:** resistente al ataque moderado de sulfatos, se lo utiliza en las tuberías de drenaje, muros de contención, pilas, presas.
- **TIPO III:** altas resistencias iniciales a tempranas edades, es usado cuando se necesita remover las cimbras (encofrado) lo más temprano posible o cuando la estructura será puesta en servicio rápidamente.
- **TIPO IV:** bajo calor de hidratación, se utiliza donde se desea minimizar la tasa y la cantidad de calor generado por la hidratación, por lo tanto este cemento desarrolla la resistencia en una tasa más lenta que otros tipos de cemento. Se puede aplicar en la construcción de presas, embalses y además en climas cálidos.
- **TIPO V:** alta resistencia a los sulfatos, se utiliza en concretos expuestos a la acción severa de sulfatos y aguas marinas.

Estos cementos se elaboran también con un agente inclusor de aire y para su denominación se añade la letra A, por ejemplo Tipo IA, o si se le incluye puzolana se le añade la letra P.

La norma ASTM C1157 - Especificación de Desempeño para Cementos Hidráulicos en correspondencia a la norma NTE INEN 2380 - Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos abarcan las especificaciones para cementos hidráulicos (cementos Pórtland y

cementos mezclados). Ésta norma, de igual manera, muestra seis tipos de cementos hidráulicos con características similares a los expuestos anteriormente:

- **Tipo GU:** Uso general.
- **Tipo HE:** Alta resistencia inicial.
- **Tipo MS:** Moderada resistencia a los sulfatos.
- **Tipo HS:** Alta resistencia a los sulfatos.
- **Tipo MH:** Moderado calor de hidratación.
- **Tipo LH:** Bajo calor de hidratación.

▪ **Propiedades físicas.**

Durante el proceso de fabricación del cemento se monitorean principalmente las siguientes propiedades:

- **Finura:** se define como la distribución total del tamaño de partículas que presenta el cemento, ésta propiedad afecta el calor liberado y la velocidad de hidratación. Mientras más fino sea el cemento mayor será la tasa de hidratación del mismo, por lo tanto, acelera el desarrollo de la resistencia.
- **Consistencia:** se refiere a la fluidez de la mezcla fresca de pasta o mortero de cemento, determinada por una cierta cantidad de agua. Tiene relación con la calidad del cemento y el tiempo de fraguado. El requerimiento de agua varía entre los distintos tipos de cemento.
- **Gravedad específica:** esta propiedad no indica la calidad del cemento, su principal uso se da en los cálculos de dosificaciones de mezclas, y presenta por lo general un valor muy similar en todos los cementos portland.

2.1.4.3. Agua

El agua es un componente fundamental en las mezclas de hormigón, ya que desempeña dos funciones de importancia: la primera permite la hidratación del cemento para obtener la pasta que es la que proporciona la resistencia del hormigón, y la segunda, aumenta la fluidez para una adecuada manejabilidad de la mezcla de hormigón.

La cantidad de agua en una mezcla de hormigón debe ser óptima, de tal manera que no se presenten las siguientes condiciones:

- Poca agua: produce un hormigón denso, seco, difícil de compactar y de homogenizar, y

- Mucha agua: origina la formación de muchos poros dentro de la mezcla, y cuando el agua se evapora creará porosidad, lo cual reducirá la resistencia y durabilidad del hormigón.

De acuerdo a lo anterior, cuando se requiera obtener una mezcla fluida no debe lograrse con un aumento en la cantidad de agua, sino por medio de la utilización de aditivos plastificantes.

El agua para la fabricación del hormigón se considera adecuada si su composición química indica que es apta para consumo humano, es decir, el agua es potable. Es posible la utilización de aguas provenientes de otras fuentes, siempre y cuando, se verifique que están libres de aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

2.1.4.4. Aditivos

Los aditivos son productos químicos que se agregan como un componente más al hormigón antes o durante la etapa de mezclado con el fin de modificar alguna de sus características, propiedades habituales o de su comportamiento en estado fresco y/o endurecido.

Actualmente los aditivos han permitido la elaboración de hormigones con características diferentes a los tradicionales, además han facilitado la construcción de distintas obras; por tal razón, su utilización se ha ido generalizando hasta el punto de considerarse como un componente necesario conjuntamente con el agua, cemento y los agregados. Los aditivos se suelen presentar en forma de polvo o de líquido (por ejemplo emulsiones).

La dosis de un aditivo en el hormigón se establecerá, en primera instancia, tomando en cuenta las especificaciones del fabricante, debiendo verificar posteriormente éste valor según los resultados obtenidos en obra o de preferencia realizando mezclas de prueba en laboratorio. Esto se realiza con el propósito de obtener la modificación requerida sin alterar excesivamente las restantes características del hormigón, ni representar peligro para su durabilidad ni para la corrosión de las armaduras.

El uso de los aditivos se debe justificar por razones técnicas y económicas ya que determinadas características del hormigón fresco y endurecido no pueden lograrse sin el uso de estos.

Las principales propiedades del hormigón que se controlan por medio del uso de aditivos son:

- Trabajabilidad y exudación en estado fresco.
- Tiempo de fraguado y resistencia inicial de la pasta de cemento.

- Resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido.

- **Tipos de aditivos.**

Según la función que desempeñe el aditivo en el hormigón se pueden distinguir los siguientes tipos:

- a) **Aditivo reductor de agua - plastificante:** son aditivos para mejorar la trabajabilidad del hormigón sin modificar su relación agua/cemento, además es un reductor de agua (reduce hasta un 15 %), lo que conlleva a mejorar la resistencia del hormigón.
- b) **Aditivo reductor de agua de alto rango - superplastificantes:** son aditivos que permiten una buena trabajabilidad del hormigón así como una reducción del agua de hasta un 30 % con lo cual se obtiene hormigón de muy alta resistencia.
- c) **Aditivos aceleradores:** son aditivos que se utilizan para disminuir el tiempo de fraguado y el desarrollo de resistencia del concreto en edades tempranas.
- d) **Aditivos retardadores:** son aditivos que retrasan el inicio del fraguado manteniendo su consistencia plástica por mucho más tiempo y produce una disminución en la resistencia inicial del hormigón. Se lo usa en hormigonado a temperaturas elevadas (clima caliente) para evitar el fraguado anticipado por evaporación del agua de amasado.
- e) **Aditivos inclusores de aire:** son aditivos que se utilizan para introducir y distribuir uniformemente burbujas microscópicas de aire en el hormigón, lo cual mejora de forma considerable la durabilidad de hormigones expuestos a ciclos de congelación-deshielo.
- f) **Aditivos impermeabilizantes:** son aditivos que reducen la tasa en la cual el agua bajo presión se transmite a través del hormigón, aumentando la compacidad de los hormigones.

2.2. Fibras como refuerzo en el hormigón

Las fibras son elementos delgados de corta longitud y pequeña sección que se utilizan como refuerzo en el hormigón con el fin de mejorar las propiedades mecánicas del mismo.

El hormigón reforzado con fibras (HRF) está constituido por una matriz conformada principalmente de cementos hidráulicos, agregados finos y gruesos, agua, fibras y aditivos en caso de ser necesarios.

La matriz de hormigón mantiene al material unido brindando resistencia a la compresión y rigidez, distribuyendo los esfuerzos y protegiendo las fibras. En cambio, las fibras soportan los esfuerzos de tracción que resisten por adherencia al hormigón, controlan la fisuración y reducen su intensidad, a la vez que mejoran la tenacidad (Mármol, 2010).

Las fibras, una vez que se incorporan al hormigón, se dispersan uniformemente en todo su volumen, lo cual le concede a la matriz del hormigón un armado en tres dimensiones en donde las fibras cosen las fisuras que se pueden producir en el hormigón formando un “puente” entre los agregados gruesos. Permite una formación controlada de las fisuras y llevan al hormigón a un comportamiento dúctil después de la fisuración inicial. La adición de fibras no modifica la naturaleza de los componentes del hormigón, por lo que éstos deben ser los apropiados a fin de que el hormigón alcance y mantenga las características requeridas.

Los hormigones reforzados con fibras pueden ser utilizados con finalidad estructural o no estructural. El empleo de fibras en el hormigón tiene finalidad estructural cuando se utiliza su contribución en los cálculos de la respuesta de la sección de hormigón y su empleo puede implicar la sustitución parcial o total de armadura en algunas aplicaciones. En cambio, se considerará que las fibras no tienen función estructural, cuando se incluyan fibras en el hormigón para una mejora ante determinadas propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros.

El hormigón reforzado con fibras incrementa en forma importante la tenacidad del material, debido a su capacidad de soportar cargas bajo flexiones o deformaciones mucho mayores que aquellas a las cuales aparece el primer agrietamiento en la matriz. La tenacidad se define como el área bajo una curva Esfuerzo – Deformación tal como se muestra en la Figura 2.5.

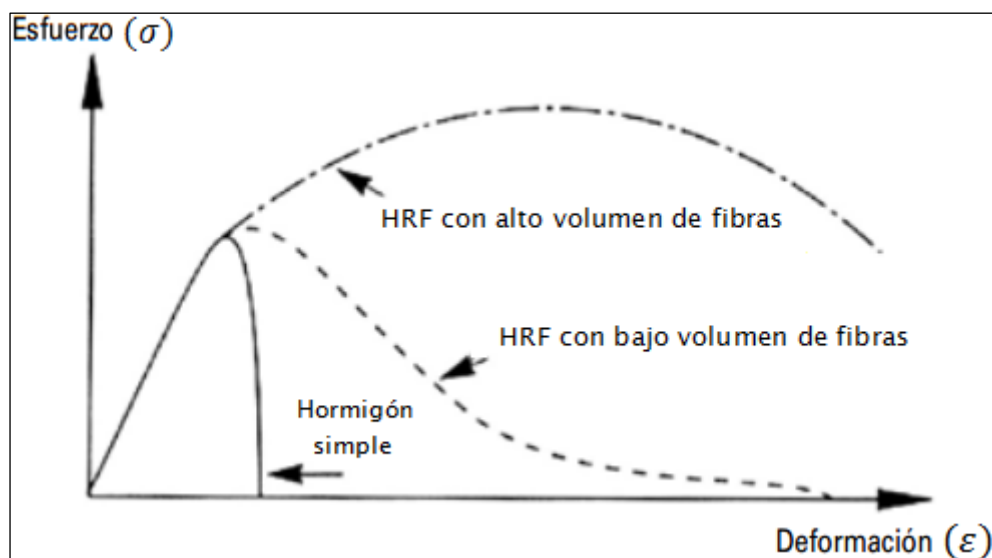


Figura 2.5. Curvas típicas de esfuerzo – deformación para hormigón reforzado con fibras.

Fuente: Barros Fierro, V. P., y Ramírez Cueva, H. C. (2012). Diseño de Hormigones con Fibras de Polipropileno para Resistencias a la Compresión de 21 y 28 Mpa con agregados de la Cantera de Pífo. Tesis de Grado (pp.32). Quito: Universidad Central del Ecuador.

Con respecto a la concentración de fibras en el hormigón, la tendencia actual es minimizar el volumen de las fibras, principalmente por razones económicas, para lo cual el mejoramiento de las propiedades del hormigón pueden ser marginales. Además, las fibras con respecto al módulo de elasticidad del compuesto no tendrán un efecto significativo. También se debe notar que las concentraciones en un alto volumen de ciertas fibras pueden hacer que el hormigón fresco no sea trabajable.

2.2.1. Tipos y propiedades de fibras utilizadas para hormigones.

Las fibras utilizadas como refuerzo en el hormigón son discontinuas y deben presentar una distribución discreta y uniforme que le confiera al material isotropía y homogeneidad. La efectividad de la acción reforzante y la eficacia en la transmisión de tensiones depende de muchos factores, principalmente, de la naturaleza y del tipo de fibra empleado.

Algunas de las características que diferencian los sistemas de refuerzo convencional con los sistemas con fibras, a pesar que los principios básicos son los mismos, son:

1. Las fibras se distribuyen aleatoriamente por toda la sección transversal, mientras que las barras de refuerzo o armadura se ponen sólo donde son necesarios.
2. La mayoría de las fibras son relativamente cortas y poco espaciadas si son comparadas a las barras continuas de refuerzo.
3. Generalmente no es posible lograr la misma relación área de refuerzo – área de hormigón con el uso de fibras si es comparado a la red de refuerzo con barras.

Las características geométricas de las fibras son: longitud, diámetro equivalente, esbeltez. Para el uso efectivo de fibras en el hormigón endurecido se deben contemplar las siguientes características:

- Las fibras deben ser significativamente más rígidas que la matriz, es decir, un módulo de elasticidad más alto.
- El contenido de fibras por volumen debe ser adecuado.
- Debe haber una buena adherencia entre la fibra y la matriz.
- La longitud de las fibras debe ser apta.
- Las fibras deben tener una alta relación de aspecto, es decir, deben ser largas con relación a su diámetro.

Las fibras comúnmente utilizadas como refuerzo en el hormigón se las puede clasificar en dos tipos:

1. Fibras de módulo de elasticidad alto y de grandes esfuerzos: tales como son el acero, vidrio, asbesto o carbón; las cuales producen mezclas fuertes, de gran rigidez y resistencia.
2. Fibras de módulo de elasticidad bajo y de gran alargamiento tales como el nylon, polipropileno y el polietileno; que tienen una gran capacidad de absorción de energía hasta su rotura y no conducen a un mejoramiento total de esfuerzos, sino que proporcionan mejores características de resistencia ante cargas abrasivas, explosivas y de impacto.

En la actualidad, las fibras de mayor empleo son las de polipropileno y las metálicas, por las diversas y amplias mejoras que se logran en las propiedades mecánicas del hormigón, además por su facilidad de adquisición en el mercado de los materiales de construcción. En los párrafos que se desarrollan a continuación se describe brevemente las propiedades y características de las fibras de polipropileno y metálicas.

2.2.1.1. Fibra de Polipropileno.

Las fibras de polipropileno se emplearon por primera vez para reforzar el hormigón en los años sesentas. El polipropileno es un material constituido de polímero de hidrocarburo sintético cuya fibra está elaborada usando procesos de extrusión por medio de estiramiento en caliente del material a través de un troquel.

Los polímeros como es el caso del polipropileno, son muy económicos con respecto a otras fibras como las de acero. Además, son químicamente inertes y muy estables en el medio alcalino lo que genera una superficie hidrófoba, dado que no absorbe agua durante la

mezcla ni en el posterior fraguado, sin embargo tiene la desventaja de tener una adherencia deficiente con la matriz del cemento, un bajo punto de fusión, alta combustibilidad y un módulo de elasticidad relativamente bajo (Mármol, 2010).

Las largas fibras de polipropileno pueden resultar difíciles de mezclar debido a su flexibilidad y a la tendencia a enrollarse alrededor de las orillas extremas de las hojas de la mezcladora.

En cuanto a las propiedades mecánicas de las fibras de polipropileno, las más importantes se muestran en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Propiedades mecánicas de las fibras de polipropileno.

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	0,90
Resistencia a la tensión	MPa	450 - 700
Módulo elástico	MPa	3500 - 5200
Resistencia a la rotura	%	6 - 15

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 155). Mexico: Grupo Apasco.

La fibra de polipropileno se desempeña como plástico y como fibra, debido a que no se funden hasta la temperatura de 160 °C. Además exhibe una resistencia a la tracción, dureza y rigidez mayor que la de los polietilenos, pero menor resistencia de impacto con respecto a estos.

En lo que se refiere al proceso de fabricación las fibras de polipropileno, éstas fibras se las puede clasificar en (Mármol, 2010):

- Monofilamentos extruidos (sección circular).
- Laminas fibriladas (sección plana).

La eficiencia del reforzamiento fibroso depende no solamente de las propiedades mecánicas de la fibra, sino también de la adherencia que existe entre la fibra y la matriz. Se conoce que la fibra de polipropileno no tratada presenta una baja adherencia. Para mejorar esta propiedad física, se han probado ciertos tratamientos de las fibras de polipropileno, como recubrir su superficie para hacerla impermeable, producir ensanchamientos en los extremos de las fibras o torcer y formar mallas con las mismas. Estas dos últimas técnicas mejoran la adherencia de 6 kgf/cm² para la fibra de polipropileno no tratada a 35 kgf/cm² para la fibra tratada.

Las fibras de polipropileno al incorporarse al hormigón se dispersan uniformemente en todo el volumen, lo que le confiere a la matriz un armado en tres dimensiones. Se debe resaltar

que a pesar de ser un material discreto, aporta continuidad al volumen del elemento de modo tal que al fracturarse no se separa. El incremento de la tenacidad (capacidad de absorción de energía) y una mejor recuperación en la zona post-elástica resulta principalmente de las características de la fibra como la geometría y el módulo elástico (Mármol, 2010).

2.2.1.2. Fibra de acero.

Las fibras de acero se han usado como refuerzo en el hormigón desde los primeros años del siglo XX. Las primeras fibras presentaban una geometría redonda y lisa, y el alambre era cortado en pedazos de acuerdo a las longitudes requeridas. La utilización de fibras lisas casi ha desaparecido y las modernas tienen, ya sea superficies ásperas, extremos con forma de gancho, o son rizadas u onduladas a lo largo de su longitud.

Las fibras de acero pueden presentar distintas formas geométricas como: rectas, onduladas, corrugadas, con extremos conformados, dentadas y otras (Figura 2.6.). Además, las secciones también son muy variadas: circulares, rectangulares, cuadradas y planas (Mármol, 2010).

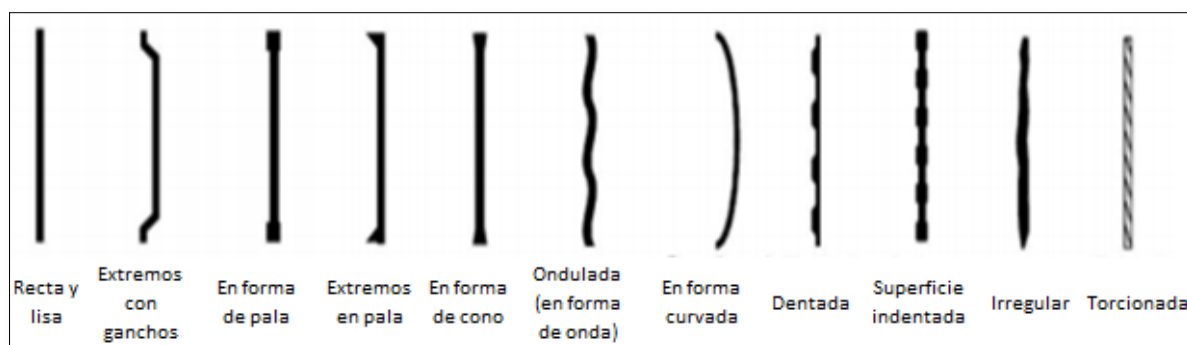


Figura 2.6. Formas geométricas comerciales de fibras de acero.

Fuente: Mármol, P. (2010). Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Trabajo Fin de Máster (pp.19). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Actualmente las fibras de acero generalmente conocidas, son fabricadas en base al estiramiento y corte de alambre de acero de diámetros típicos que van desde 0,25 a 0,76 mm. Además, existe la fibra de acero plana, producida por un proceso de laminado de alambres de acero, presentada en secciones transversales de 0,15 a 0,41 mm de espesor, por 0,25 a 0,90 mm de ancho. Una fibra técnicamente más eficaz es la fibra de acero con extremos ensanchados de 0,15 a 0,30 mm de espesor, por 0,20 a 0,60 mm de ancho, porque proporciona mayor adherencia, homogeneidad y trabajabilidad a la mezcla (Barros y Ramírez, 2012).

Las fibras de acero presentan una relación entre su longitud y su diámetro que generalmente varían de 20 a 100. Algunas fibras son juntadas para formar manojos usando goma soluble al agua para facilitar el manejo y el mezclado.

La norma ASTM A 820 - Especificación estándar para fibras de acero para hormigón reforzado con fibra, proporciona una clasificación de las fibras de acero con respecto al material base utilizado en su fabricación, en donde se distinguen cuatro tipos:

1. Tipo I: alambres estirados en frío (cold – drawn wire),
2. Tipo II: láminas cortadas (cut sheet)
3. Tipo III: extractos fundidos (melt-extracted)
4. Tipo IV: otras fibras (other fibers)

En la Tabla 2.10. se detallan algunas de las propiedades mecánicas de las fibras de acero.

Tabla 2.10. Propiedades mecánicas de las fibras de acero.

Propiedad	Unidad	Valor
Densidad	g/cm ³	7,80
Resistencia a la tensión	MPa	500 - 2600
Módulo elástico	MPa	210000
Resistencia a la rotura	%	0,5 – 3,5

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 155). Mexico: Grupo Apasco.

Para una óptima efectividad del refuerzo matriz - fibras, se exige a las fibras las siguientes propiedades (Barros y Ramírez, 2012):

- Una resistencia a tracción significativamente mayor que la del hormigón.
- Una adherencia con la matriz del mismo orden o mayor que la resistencia a tracción de la matriz.
- Un módulo de elasticidad significativamente mayor que el del hormigón.

Los volúmenes de fibras de acero empleados en el hormigón normalmente varían del 0,25% al 2 %. En volúmenes mayores al 2 % del volumen por lo general reducen la trabajabilidad y dispersión de las fibras y se requiere un diseño especial de las mezclas o técnicas especiales de colado. Por lo tanto, se requiere un contenido mínimo de fibras, que resultará menor a medida que aumente la capacidad adherente y la esbeltez de las fibras.

Para fibras de igual longitud, la reducción en el diámetro tiende a aumentar el número de ellas por unidad de peso y hacen más denso el entramado o la red de fibras. Cuando la fibra

es más fina el espaciamiento entre fibras se reduce, lo que conlleva a ser más eficiente permitiendo una mejor distribución de la carga o de los esfuerzos. Las fibras actúan en las diferentes etapas del proceso de fisuración del hormigón lo cual se refleja a dos escalas: material y estructural. De esta forma, a escala material y durante la fase de fisuración aleatoria, las fibras cosen las fisuras activas y retardan el desarrollo de la fisuración, aumentando la resistencia y la ductilidad; mientras que, en la etapa en que las macrofisuras se propagan, las fibras de igual forma cosen las fisuras aportando mayor capacidad resistente y ductilidad a escala estructural (Mármol, 2010).

Las fibras de acero no afecta la contracción libre (retracción), es más retardan la fractura del confinado durante la contracción y mejoran la relajación de tensiones por el mecanismo de fluencia (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004).

Las fibras acero puede considerarse como un refuerzo principal al sustituir el refuerzo con varilla de acero o malla electrosoldada, debido a que su incorporación en el hormigón aumenta su módulo de ruptura y por ende su capacidad de carga.

2.2.2. Factores influyentes en el comportamiento mecánico del HRF.

En el desempeño de los hormigones reforzado con fibras influyen distintos parámetros, entre los principalmente se puede mencionar: la dosis de la fibra, el módulo de elasticidad de la fibra, las propiedades físicas de la fibra así como de la matriz y de la adherencia fibra-matriz. Además se debe considerar el efecto que produce la orientación de una fibra en la matriz. La orientación de una fibra relativa al plano de rotura o fisura, influye fuertemente su habilidad en transmitir cargas. Por tal motivo, una fibra que se posiciona paralela al plan de rotura no tiene efecto, mientras que una perpendicular tiene efecto máximo (Barros y Ramírez, 2012).

2.2.2.1. Influencia de la longitud de la fibra.

La longitud mínima que debe tener una fibra debe cumplir que la carga en la fibra sea igual a la carga de rotura por tracción. El esfuerzo que se transmite de la matriz a las fibras se realiza por un mecanismo de cizallamiento siempre que las fibras posean una longitud infinita. Una fibra de longitud infinita presenta una superficie infinita de anclaje con la matriz, en estas condiciones, difícilmente la matriz y fibra se romperán antes de lograr la carga máxima de rotura de la fibra. Por otra parte, si la fibra no es infinita, se la denomina corta, la superficie de anclaje que ofrece es menor en esta situación. Como la fibra soporta mayor carga que la matriz, casi siempre la matriz empieza a acusar los efectos de la carga antes

de la fibra. En este caso, primero se agrietará la matriz y seguidamente se romperá la fibra (Barros y Ramírez, 2012).

Las características mecánicas de los hormigones reforzados con fibras dependen no solo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. En este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión en la intercara de la fase matriz y fibra. Al aplicar un esfuerzo de tracción, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz y en la matriz se genera un patrón de deformación como se muestra en la Figura 2.7.

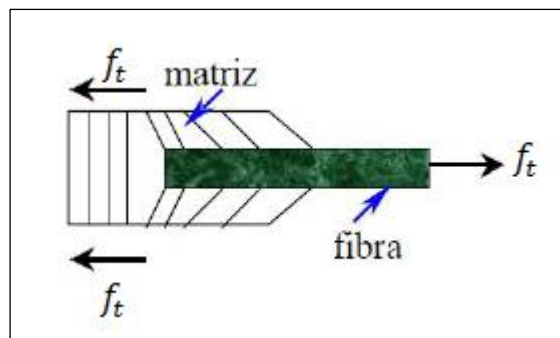


Figura 2.7. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción.

Fuente: Mármol, P. (2010). Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Trabajo Fin de Máster (pp.20). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Existe una longitud de fibra crítica para aumentar la resistencia y la rigidez del material compuesto. Esta longitud crítica (l_c) depende del diámetro (d) de la fibra, de la resistencia a la tracción (f_t) y de la resistencia de la unión matriz - fibra (o resistencia a la cizalladura de la matriz) (τ_c) de acuerdo con:

$$l_c = \frac{f_t d}{\tau_c} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Dependiendo si la longitud de la fibra es mayor o menor con respecto a la longitud crítica de la fibra se establecen distintos perfiles esfuerzo-posición tal como se muestra en la Figura 2.8.

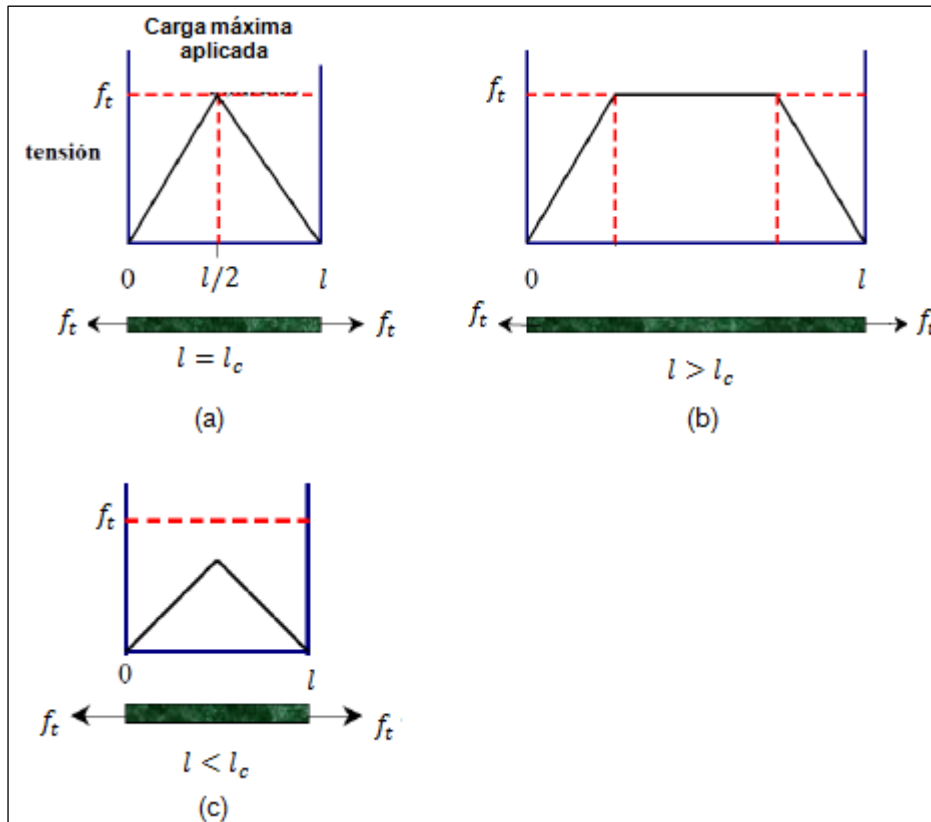


Figura 2.8. Perfiles esfuerzo-posición cuando la longitud de la fibra l es (a) igual a la longitud crítica, (b) mayor que la longitud crítica y (c) menor que la longitud crítica en un compuesto reforzado con fibra y sometido a un esfuerzo de tracción igual a la resistencia a la tracción f_t de la fibra.

Fuente: Mármol, P. (2010). Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Trabajo Fin de Máster (pp.21). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

De la Figura 2.8. se deduce:

Si $l = l_c$ la carga máxima se consigue en el centro de la fibra.

Si $l > l_c$ el reforzamiento es más efectivo.

Si $l < l_c$ el reforzamiento es insignificante (la matriz se deforma alrededor de la fibra, casi no existe transferencia del esfuerzo).

Las fibras con $l > l_c$ (normalmente $l > 15 l_c$) se denominan continuas y las fibras con $l < l_c$ se denominan discontinuas o fibras cortas. En las fibras discontinuas, de longitud significativamente menor que l_c , la matriz se deforma alrededor de la fibra de modo que apenas existe transferencia del esfuerzo y el efecto del reforzamiento de la fibra es insignificante.

2.2.2.2. Influencia de la orientación y concentración de la fibra.

Los aspectos que influyen de forma directa en la resistencia y otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras son la disposición u orientación relativa de las fibras, así como su concentración y distribución.

Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas:

1. Alineación paralela a los ejes longitudinales de las fibras
2. Alineación al azar, las fibras continuas normalmente se alinean (Figura 2.9.a) mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear (Figura 2.9.b) o bien se pueden orientar al azar (Figura 2.9.c) o alinearse parcialmente.

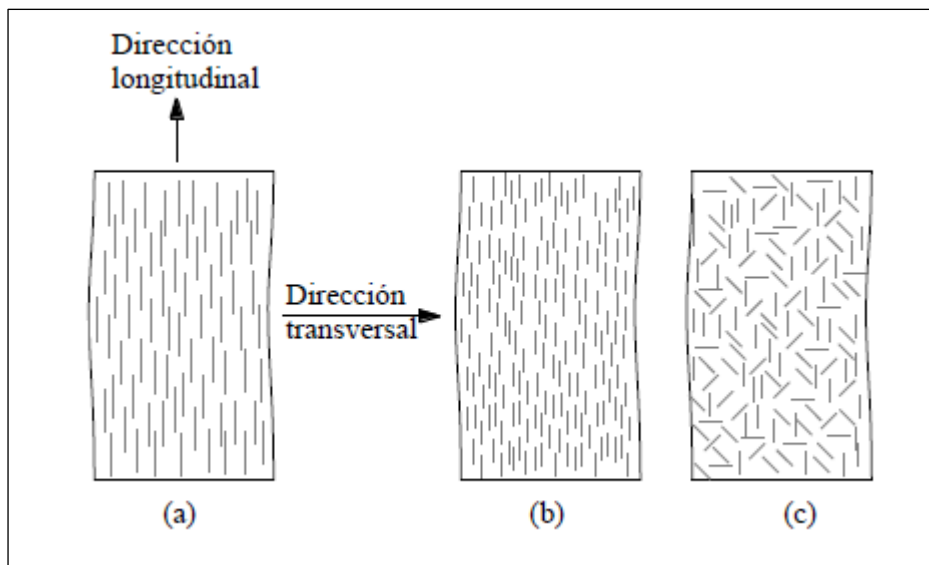


Figura 2.9. Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineadas y (c) discontinuas y orientadas al azar.

Fuente: Barros Fierro, V. P., y Ramírez Cueva, H. C. (2012). Diseño de Hormigones con Fibras de Polipropileno para Resistencias a la Compresión de 21 y 28 MPa con agregados de la Cantera de Pífo. Tesis de Grado (pp.49). Quito: Universidad Central del Ecuador.

Diferentes autores avalan la teoría de que se produce una orientación preferencial de las fibras en el sentido de quedar paralelas a la dirección del flujo en las capas exteriores del moldeado y una distribución más arbitraria en el núcleo. El grado de orientación de las fibras y la caracterización de las capas que se desarrollen dependería de (Barros y Ramírez, 2012):

- De las dimensiones y forma del molde
- De la temperatura del molde
- De la temperatura del material inyectado
- De la presión de inyección

- De las dimensiones de las fibras

El módulo elástico de los materiales reforzados, tanto si las fibras están alineadas como si están orientadas al azar, aumenta al incrementarse la fracción de volumen de la fibra.

Las consideraciones sobre la orientación y la longitud de las fibras de un compuesto particular dependen del nivel y de la naturaleza del esfuerzo aplicado y del costo de fabricación. Las velocidades de producción de compuestos con fibras cortas (discontinuas y orientadas al azar) son rápidas y se pueden conformar piezas de formas intrincadas que no son posibles con refuerzos de fibras continuas. Además, los costos de fabricación son mucho más bajos que en el caso de compuestos reforzados con fibras continuas y alineadas.

2.3. Dosificación del hormigón

El objetivo de un diseño de hormigones es obtener una mezcla que posea un mínimo de determinadas propiedades tanto en estado fresco como endurecido, al menor costo de producción posible. Las propiedades del hormigón endurecido son especificadas por el proyectista de la estructura y las propiedades del hormigón fresco están definidas básicamente por el tipo de construcción, las técnicas de colocación del hormigón y el transporte del mismo (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004).

La dosificación de un hormigón se refiere al proceso de determinación de las proporciones de sus componentes, con el fin de conseguir las características exigidas en un proyecto. Un hormigón adecuadamente proporcionado deberá presentar las siguientes cualidades:

- Economía, no sólo respecto al costo inicial sino durante la vida útil hasta su servicio final.
- Trabajabilidad aceptable, para poder dar lugar a un vaciado satisfactorio en las condiciones de trabajo.
- Resistencia suficiente, para soportar las cargas de diseño.
- Durabilidad, para permitir un servicio satisfactorio en las condiciones esperadas de exposición durante su vida útil.

Dependiendo de las condiciones que deba reunir un hormigón se podrá elegir uno u otro método de dosificación. Sus resultados dependerán del método utilizado y de los ajustes en la mezcla mediante mezclas de prueba. La mayor parte de los procedimientos de dosificación están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada y una trabajabilidad apropiada.

El Instituto Americano del Concreto ACI propone un método de dosificación, considerado el más utilizado y adecuado para cualquier obra a efectuarse con hormigón.

2.3.1. Método de dosificación del ACI.

El método del ACI (apartado ACI 211.1-91 Práctica estándar de elección de las proporciones para el concreto normal, de densidad elevada y masivo), se basa en la resistencia buscada para el hormigón que se diseña, en la cual se establece la relación agua/cemento que asegure la durabilidad y la resistencia del hormigón.

La dosificación del hormigón se realiza en base a tablas obtenidas de resultados de ensayos realizados en laboratorio con el fin de dar una guía a los diseñadores de mezclas de hormigón. En la Figura 2.10. se muestra un diagrama de flujo del proceso para la dosificación del hormigón empleando el método del ACI.

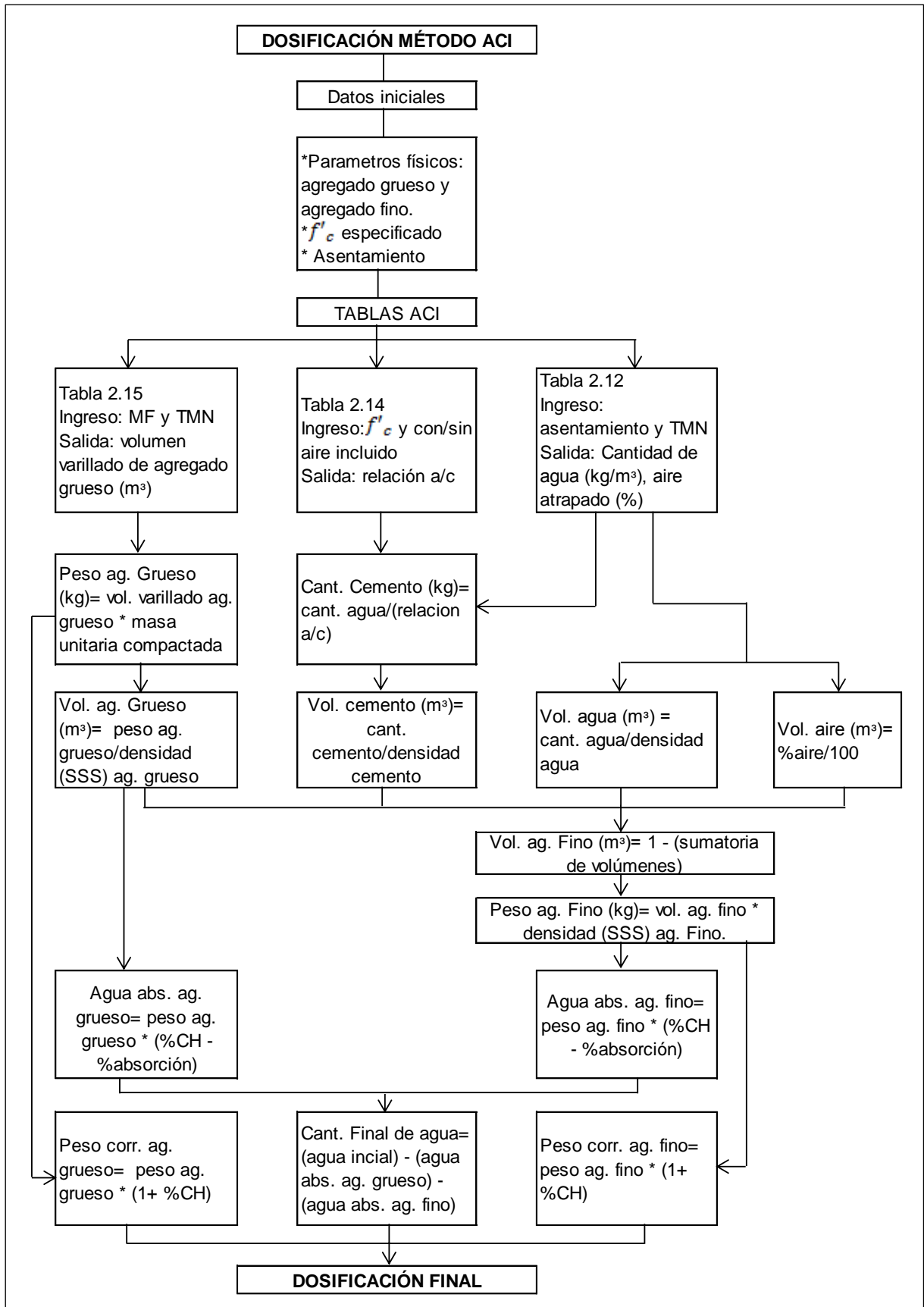


Figura 2.10. Diagrama de flujo del método de dosificación del Instituto Americano del Concreto (ACI)
Fuente: El Autor

La metodología para la dosificación de mezclas de hormigón a seguirse se detalla a continuación:

1. Asentamiento.

El primer paso contempla la selección del revenimiento (asentamiento). Cuando este no se dispone, el ACI incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de asentamiento de acuerdo con el tipo de construcción que se va a proyectar. El asentamiento es un indicador de trabajabilidad, es decir, es una medida de la facilidad o de la dificultad de colocación, consolidación y acabado del hormigón.

Tabla 2.11. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción.

Construcción de concreto	Revenimiento mm (pulg)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y Losas	75 (3)	25 (1)
Concreto Masivo	75 (3)	25 (1)
* Se puede aumentar 25 mm (1 pulg.) para los métodos de consolidación manuales, tales como varillado o picado.		

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 191). Mexico: Grupo Apasco.

2. Resistencia del hormigón.

Otro elemento del diseño en la dosificación del hormigón es establecer la resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}) o resistencia media requerida a la compresión, de tal manera que los resultados que se obtengan con esta resistencia excedan a la resistencia a la compresión especificada (f'_c) y disminuir la probabilidad de que los resultados de los ensayos estén por debajo de esa resistencia especificada.

3. Estimación de la cantidad de agua de mezclado y del contenido de aire.

El ACI presenta una tabla de valores recomendados del contenido de agua en función del asentamiento requerido, del tamaño máximo del agregado y con o sin aire incluido. Dependiendo de la textura y forma del agregado los requisitos de agua de mezclado pueden estar por encima o por debajo de los valores dados, como se muestra en la Tabla 2.12. pero estos valores son lo suficientes para una primera estimación.

Tabla 2.12. Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.

Cantidad de agua para los tamaños de agregado indicados*, expresada en kg/m ³								
Tamaño del agregado	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
Asentamiento mm	Concreto sin aire incorporado							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, expresado en porcentaje	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
	Concreto con aire incorporado							
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	---
Cantidad aproximada de aire según el nivel de exposición, expresado en porcentaje.								
Exposición leve	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición severa	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4
* Estas cantidades de agua de mezcla se utilizan en el cálculo de los contenidos de cementos en las mezclas de prueba. Estas cantidades son máximas para agregados gruesos razonablemente angulares con granulometría dentro de los límites de las especificaciones.								
** El revenimiento (asentamiento) del hormigón conteniendo agregados mayores que 37,5 mm se basa en el ensayo de revenimiento realizado después de la remoción de las partículas mayores que 37,5 mm, a través de cribado húmedo.								

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 190). Mexico: Grupo Apasco.

Los niveles de exposición que se indican en la Tabla 2.12. se describen a continuación:

- Exposición leve.- se incluye aire para dar un efecto benéfico (que no sea la durabilidad) por ejemplo, mejorar la trabajabilidad o cohesión en el hormigón con un bajo contenido de cemento para mejorar la resistencia.
- Exposición moderada.- cuando la estructura está situada en un clima donde se espera congelación. El hormigón no estará continuamente expuesto a humedad o agua libre por períodos largos antes de la congelación y no estará expuesto a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos.

- Exposición severa.- hormigón que está expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos o donde el hormigón pueda llegar a estar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua libre antes de congelarse.

4. Relación agua/cemento.

La relación agua/cemento debe seleccionarse de acuerdo a las exigencias de resistencia media requerida a la compresión (f'_{cr}) y de las condiciones de exposición ambiental, dado que la calidad del hormigón de una estructura depende, no solamente de su resistencia a los esfuerzos de compresión y corte, sino también de su "durabilidad" o resistencia a la acción de agentes atmosféricos y otros agentes agresivos.

Para cuidar el hormigón de los agentes atmosféricos u otros requerimientos, frecuentemente se incluye entre las condiciones de diseño, un "factor de cemento" mínimo, es decir una cantidad mínima de cemento por cada metro cúbico de hormigón. Se sabe que la resistencia y durabilidad de un hormigón dependen de muchos factores, tales como la forma de mezclar, la forma de colocar en obra, la compactación, la temperatura, el tiempo de curado, la calidad de los ingredientes, etc. Si todas estas variables están adecuadamente controladas, las características de resistencia y durabilidad dependen, casi exclusivamente, de la calidad de la pasta agua/cemento.

La Tabla 2.13 indica cuál debe ser la relación agua/cemento máxima permisible para diferentes condiciones de exposición y tipos de obras. En muchos casos, esta exigencia prevalecerá sobre la exigencia de la resistencia a la compresión.

Tabla 2.13. Relación agua/cemento máxima para condiciones de exposición.

Condición de exposición	Relación agua/cemento máxima por masa de concreto.
Concreto protegido de la exposición a congelación – deshielo, de la aplicación de sales de deshielo o de sustancias agresivas.	Elija la relación agua/cemento basándose en la resistencia, trabajabilidad y requisitos de acabado (terminación superficial)
Concreto que se pretende que tenga baja permeabilidad cuando sea expuesto al agua.	0,50
Concreto expuesto a congelación – deshielo en la condición húmeda y descongelantes.	0,45
Para protección contra la corrosión del refuerzo (armadura) del concreto expuesto a cloruro de las sales descongelantes, agua salobre, agua del mar o rociado de estas fuentes.	0,40

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 186). Mexico: Grupo Apasco.

El ACI además proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión que se requiera a los 28 días.

Tabla 2.14. Dependencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a compresión del concreto.

Resistencia a compresión a los 28 días		Relación agua/cemento en masa	
kgf/cm ²	MPa	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	45	0,38	0,31
400	40	0,43	0,34
350	35	0,48	0,40
300	30	0,55	0,46
250	25	0,62	0,53
200	20	0,70	0,61
150	15	0,80	0,72

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 187). Mexico: Grupo Apasco.

De estas dos tablas (2.13 y 2.14) se elige una de acuerdo a los condiciones de la obra a proyectarse, con el fin de obtener la relación agua/cemento para la dosificación del hormigón.

5. Contenido de cemento.

La cantidad de cemento por unidad de volumen de hormigón está fijada por la división entre el contenido estimado de agua de mezclado y la relación agua/cemento. Si las especificaciones incluyen un límite mínimo de cemento tomando en consideración los requisitos para la resistencia y la durabilidad, en la mezcla se usará el que sea mayor aquí.

6. Estimación de la cantidad de agregado grueso.

El ACI proporciona mediante la Tabla 2.15. el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón, los valores dependen del tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino.

El peso seco de agregado grueso requerido para un metro cúbico de hormigón se obtiene del producto entre el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón y el peso unitario (varillado seco) del agregado.

Tabla 2.15. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón.

Tamaño máximo nominal del agregado grueso mm (pulg.)	Volumen de agregado grueso varillado (compactado) en seco por volumen unitario de hormigón para diferentes módulos de finura de agregado fino. m ³			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 (3/8)	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 (1/2)	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0 (3/4)	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0 (1)	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 (1 ½)	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0 (2)	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0 (3)	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0 (6)	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 188). Mexico: Grupo Apasco.

7. Estimación del contenido del agregado fino.

En los pasos anteriores se han determinado todos los componentes del hormigón, excepto el agregado fino. La cantidad de este, será lo que falta para completar un metro cúbico de hormigón. Existen dos procedimientos para su determinación: por el método por peso y por el método por volumen absoluto. Éste último es el procedimiento más preciso para calcular la cantidad requerida de agregado fino, el cual implica el uso de volúmenes desplazados por los componentes. En este caso, el volumen total desplazado por los componentes (agua, aire, cemento y agregado grueso) se substraen del volumen unitario de hormigón para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado en el hormigón por cualquier ingrediente es igual a su peso dividido por su densidad (densidad = peso unitario del agua x gravedad específica del material).

8. Ajustes por Humedad del Agregado.

En la elaboración del hormigón se debe considerar la humedad de los agregados. Cuando los agregados están húmedos, su peso seco debe ser incrementado en el porcentaje de agua, absorbida y superficial, que contengan.

Una vez que se obtiene los contenidos de humedad de los agregados, expresado en porcentaje (%), se procede a realizar las correcciones por humedad, tanto para los agregados como en el agua de mezclado.

- Correcciones en el peso de los agregados:

$$\text{Agregado grueso} = \text{Peso (grava)} * (1 + \%CH) \quad \text{Ecuación 2.14}$$

$$\text{Agregado fino} = \text{Peso (arena)} * (1 + \%CH) \quad \text{Ecuación 2.15}$$

- Correcciones en el peso del agua de mezclado:

El agua absorbida por los agregados no se convierte en parte del agua de mezclado y no debe considerarse en los ajustes, por lo tanto solo se considera el agua superficial que será el porcentaje de humedad menos el porcentaje de agua absorbida. Por lo tanto el agua a añadirse a la mezcla será:

$$\text{Agua final} = \text{Agua calculada} - (\text{Peso grava} * (\%CH - \%absorción)) - (\text{Peso arena} * (\%CH - \%absorción)) \quad \text{Ecuación 2.16}$$

CAPÍTULO III

3. MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se muestra la selección de los materiales a ser empleados en la elaboración del hormigón. Aquí se describen las canteras de donde se obtuvieron los agregados, el tipo y las principales características que presentan el cemento, el aditivo y las fibras a ser adicionadas en el hormigón. En cuanto a las fibras se describen los dos tipos a ser usados como son las fibras de polipropileno y las fibras metálicas.

3.1. Selección de agregados

En el desarrollo de la presente investigación se eligió agregados procedentes de dos canteras: Boquerón y Malacatos, debido a que éstas se encuentran cercanas a la zona del proyecto y por ser las de mayor utilización dentro de la construcción de las diferentes obras civiles en la región.

3.1.1. Cantera río Boquerón.

La cantera se encuentra ubicada en la Provincia de Loja, en el cantón Catamayo al nor-este de la ciudad de Loja, en el río Boquerón próximo a la comunidad de Catamayo el ingreso a ésta se lo realiza por la carretera Catamayo – Gonzanamá a la altura del Km 3 aproximadamente. En la Figura 3.1. se muestra la ubicación de la cantera con respecto a la ciudad de Loja.

Los áridos de esta cantera son aluviales (cantos rodados), extraídos directamente del río en su estado natural y clasificados en diferentes tamaños nominales. El agregado fino se clasifica en diferentes módulos de finura, lo cual permite seleccionar el material más fácilmente.

3.1.2. Cantera río Malacatos.

La cantera se encuentra ubicada en el río Malacatos próximo a la comunidad de Malacatos en una distancia de aproximadamente 4 km en la Provincia de Loja, cantón Loja, parroquia rural Malacatos al sur de la ciudad de Loja. El ingreso a ésta se lo realiza por la carretera Malacatos – El Tambo. La ubicación de la cantera con respecto a la ciudad de Loja se muestra en la Figura 3.2.

Los áridos de esta cantera son aluviales, extraídos directamente del río en su estado natural. El agregado grueso es obtenido luego de un proceso de trituración de los cantos, los mismos que son clasificados en diferentes tamaños nominales. Por otro lado, el agregado fino una vez extraído del río se encuentra en condiciones de ser utilizado.



Figura 3.1. Ubicación cantera río Boquerón.
Fuente: Google Earth 2015.

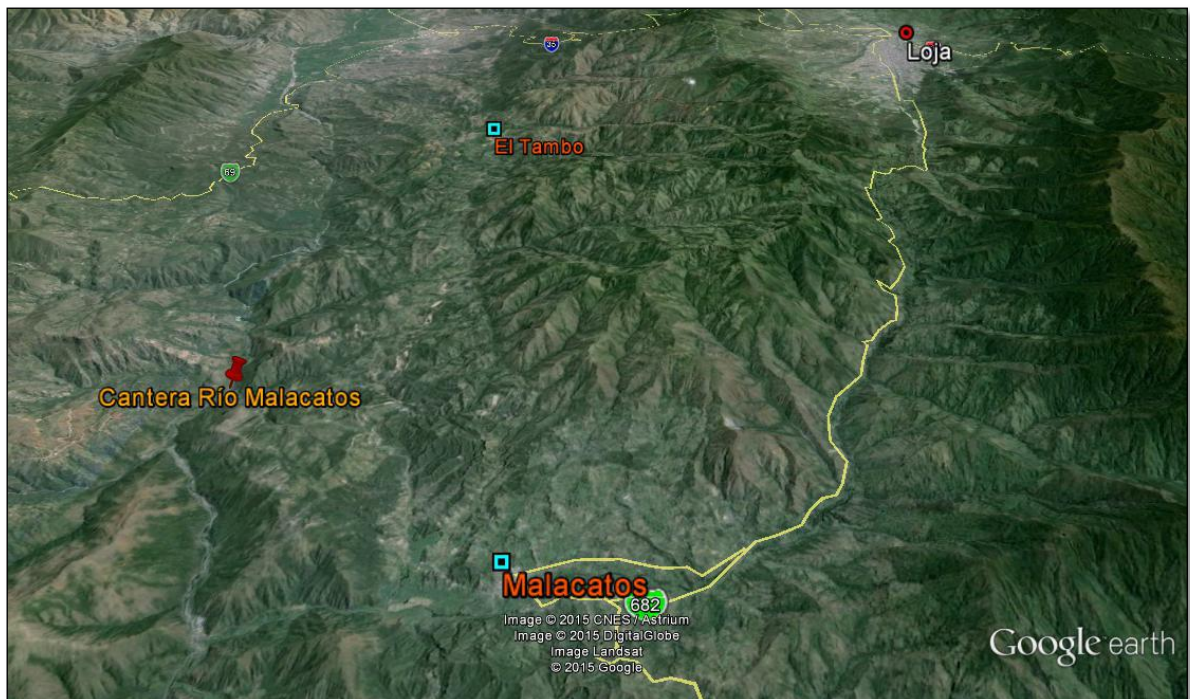


Figura 3.2. Ubicación cantera río Malacatos.
Fuente: Google Earth 2015.

3.2. Selección del cemento

En el presente trabajo, se utilizó el **Cemento Holcim Rocafuerte Tipo GU** que forma parte de los productos que nos ofrece la empresa Holcim Ecuador S.A. El Cemento Holcim Rocafuerte Tipo GU es fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380. El uso de este cemento en hormigón puede ser en obras como: pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tubería, tanques, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado.

La Tabla 3.1. muestra la Ficha Técnica emitida por Holcim Ecuador S.A. sobre la fabricación de los cementos y sus propiedades físicas y químicas.

Tabla 3.1. Propiedades físicas y químicas de los cementos fabricados por Holcim Ecuador S.A.

PARAMETRO	VALOR
Apariencia	Polvo gris o verdoso
Olor	No tiene olor notable
Estado físico	Sólido (polvo)
pH (en agua)	12 a 13
Solubilidad en agua	Ligeramente (0,1 a 1,0%)
Tasa de evaporación	No aplicable
Presión de vapor	No aplicable
Densidad de vapor	No aplicable
Punto de ebullición	No aplicable (>1000°C)
Punto de fusión	No aplicable
Gravedad específica (H ₂ O=1,0)	2,95 – 3,10

Fuente: Ficha Técnica de productos emitida por Holcim Ecuador S.A.

Una de las propiedades físicas de mayor importancia en los cálculos de las proporciones de la mezcla de hormigón es la densidad del cemento. Esta densidad sirve para determinar el contenido en volumen de cemento en la mezcla. La densidad se obtiene del producto de la gravedad específica por la densidad del agua. En esta investigación se ha escogido un valor promedio de la gravedad específica igual a 3,00 o 3000 kg/m³.

3.3. Selección del aditivo

El aditivo utilizado en la producción del hormigón, en esta investigación, fue el aditivo **ADITEC 100N**, que es un plastificante reductor de agua para hormigón formulado a base de polímeros hidroxilados. Este aditivo es producido y comercializado por la Empresa Aditec Ecuatoriana Cía. Ltda.



Figura 3.3. Presentación de aditivo plastificante Aditec 100N

Fuente: Ficha Técnica del producto.

Este aditivo cumple y excede con los requerimientos de la Norma ASTM C-494 Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto. La dosis de aditivo que recomienda el fabricante, para incrementar la plasticidad del hormigón debe ser de 90 a 250 cc por cada saco de cemento de 50 kg.

De acuerdo a la ficha técnica emitida por la empresa fabricante, se detallan las siguientes especificaciones del aditivo:

- Densidad (g/cm^3): $1,145 \pm 0,005$.
- pH: 8,5 a 9,0.
- Líquido de color café oscuro.
- No contiene cloruros.

De igual manera algunos de los beneficios que brinda este aditivo son:

- En relaciones de agua-cemento constantes, reduce el agua de mezcla del 10 % al 20 %, permitiendo ahorros considerables en el uso de cemento.
- Con una misma dosificación se obtiene a la vez: hormigones de alta fluidez y altas resistencias a todas las edades.
- Mejora y facilita el bombeo a grandes alturas.

3.4. Selección de fibras

En la presente investigación se utilizó dos tipos de fibras como son: fibra de polipropileno y fibra metálica. Estas fibras se obtuvieron por medio de empresas comercializadoras de materiales de construcción las mismas que se desenvuelven en el medio local y presentan facilidades para la adquisición de sus productos.

3.4.1. Fibra de Polipropileno.

Las fibras de polipropileno utilizadas en esta investigación, fueron proporcionadas por la empresa ecuatoriana TESPECON CÍA. LTDA., la cual importa y distribuye productos para la construcción.

La fibra seleccionada ha sido denominada por el productor como “**EPS Fibratex**” refuerzo tridimensional para hormigón. El EPS Fibratex son monofilamentos de polipropileno de alta tenacidad que al mezclarse produce un excelente hormigón fibroso. Todos sus componentes se distribuyen homogéneamente en todas direcciones formando una matriz tridimensional, proporcionando al hormigón un efectivo refuerzo secundario, evitando así las fisuras debido a la retracción plástica del mismo y dándole una resistencia adicional a la abrasión.

Las características de “EPS Fibratex” son las siguientes:

- La configuración de la fibra se presenta como una red de filamentos de polipropileno enrollado en pequeños paquetes de longitud determinada.
- La fibra está fabricada de material de polipropileno 100 % virgen.
- La fibra se emplea en una dosis mínima de 1 kg por cada metro cúbico de hormigón.
- La longitud mínima de la fibra será de $\frac{3}{4}$ " como mínimo. Las fibras se utilizarán de mayor longitud tomando en consideración el tamaño máximo de agregado grueso del hormigón.

Para la determinación de la longitud óptima de la fibra que debe utilizarse en un hormigón se lo hará con respecto al tamaño máximo nominal del agregado como se muestra a en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Longitudes recomendadas de fibra en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso

Tamaño máximo nominal del agregado Pulg.	(mm)	Longitud de la fibra Pulg.	(mm)
1/4"	(6 mm)	1/2"	(13 mm)
1/2"	(13 mm)	3/4"	(19 mm)
3/4"	(19 mm)	1 1/2"	(38 mm)
> 1"	(>25 mm)	2 1/4"	(54 mm)

Fuente: Barros Fierro, V. P., y Ramírez Cueva, H. C. (2012). Diseño de Hormigones con Fibras de Polipropileno para Resistencias a la Compresión de 21 y 28 Mpa con agregados de la Cantera de Pifo. Tesis de Grado0 (pp.51). Quito: Universidad Central del Ecuador.

Del análisis granulométrico de los áridos (más adelante sección 4.1.1.) se determinó los tamaños máximos nominales de los agregados provenientes de las dos canteras los cuales fueron: para la Cantera Río Boquerón de 1 1/2" y para la Cantera Río Malacatos de 3/4".

Con lo cual se tomó como referencia el tamaño máximo nominal de la Cantera Río Boquerón por ser de mayor valor y de acuerdo a las recomendaciones de la tabla 3.2. se obtiene que la longitud de la fibra deba ser de 54 mm.

Conforme a esta apreciación la fibra EPS Fibratex que se ha adquirido fue la de 57 mm de longitud, además para poder realizar una mejor apreciación de los resultados se ha empleado la misma fibra con los agregados de la Cantera río Malacatos.

Las propiedades físicas y mecánicas de la fibra EPS Fibratex, se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Propiedades físicas y mecánicas de la fibra EPS Fibratex.

Propiedad	Valor	Unidad
Material	100 % de polipropileno virgen	
Densidad	0,91	g/cm ³
Resistencia a la tensión	6 a 8	kgf/cm ²
Resistencia ácida	Alta	-
Resistencia alcalina	Alta	-
Módulo de Young	35	kgf/cm ²
Conductividad térmica	Baja	-
Conductividad eléctrica	Baja	-
Absorción	Nula	-
Elongación última	Aprox. 15	%
Longitud de fibra	57	mm

Fuente: Ficha Técnica EPS Fibratex emitida por TESPECON Cía. Ltda.

3.4.2. Fibra Metálica.

La fibra metálica que se ha utilizado en la presente investigación fueron las desarrolladas por Ideal Alambrec Bekaert. Esta fibra metálica se ha denominado como fibra de acero Dramix, la cual tiene un uso estructural en hormigón, ya que su presencia en la matriz del hormigón contribuye a la capacidad de resistir cargas. Están fabricadas de alambre de acero trefilado en frío de primera calidad para asegurar una alta resistencia a la tensión con tolerancias extremadamente pequeñas. Además, están provistas de terminaciones en forma de gancho lo que proporciona un mejor anclaje.

Las fibras de acero Dramix pueden ser utilizadas con cualquier tipo de hormigón o mortero, incluyendo: hormigones fundidos in situ, proyectados, premezclados, para prefabricados, para reparaciones, para revestimiento de taludes, en tunelería, en minería, en losas de compresión sobre bovedillas y sobre placas metálicas colaborantes, y demás aplicaciones de ingeniería.

Las fibras de acero Dramix se ofrecen en presentaciones codificadas por una nomenclatura basada en las principales características de cada fibra, lo cual facilita reconocerlas de forma clara, rápida y sencilla:

Tabla 3.4. Nomenclatura fibras de acero Dramix.

Anclaje	Encolado	Relación (longitud/diámetro)	Longitud	Acabado	Tensión
R: Gancho	C: Encoladas	45: Estándar	L: en mm	B: Brilloso	N: Normal
O: Recto		65: Alta Calidad		C: Galvanizado	
F: Plano + Gancho	L: Sueltas	80: Super rendimiento		S: Acero Inoxidable	P: Alta

Fuente: Ficha Técnica Ideal Alambre Bekaert.

Algunas de las fibras Dramix comercializadas que se ofrecen en el mercado mundial se detallan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Fibras de acero Dramix existentes en el mercado.

Tipo	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Relación (longitud/diámetro)	Resistencia mínima (N/mm ²)
RC 80/60 BN	60	0,75	80	1225
RC 65/60 BN	60	0,90	65	1160
RL 45/50 BN	50	1,05	45	1115
RC 65/35 BN	35	0,55	65	1345
RL 45/35 BN	35	0,75	45	1225
RC 80/60 CN	60	0,75	80	1350
RC 65/35 CN	35	0,55	65	1550

Fuente: Ficha Técnica Ideal Alambre Bekaert.

En base a las longitudes recomendadas de la Tabla 3.2. se seleccionó la fibra Dramix RC 65/60 BN que tiene una longitud de 60 mm debido al resultado que se obtuvo previamente en la fibra de polipropileno, en donde su longitud fue de 54 mm. Las principales características que presenta la fibra de acero Dramix RC 65/60 BN se muestran en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6. Propiedades de la fibra de acero Dramix RC65/60BN.

Propiedad	Valor	Unidad
Material	Acero trefilado en frío	
Densidad	7,84	g/cm ³
Módulo de Young	210000	N/mm ²
Longitud de fibra	60	mm
Diámetro de fibra	0,90	mm
Absorción	Nula	-
Dosificación mínima	15	kg por m ³
Cantidad de fibras	3200	mm

Fuente: Ficha Técnica fibra de acero Dramix RC 65/60BN emitida por Ideal Alambrec Bekaert.

CAPÍTULO IV

4. INVESTIGACIÓN REALIZADA Y RESULTADOS

En este capítulo se describe el proceso del desarrollo de la investigación. En primer lugar, una vez seleccionados los agregados a utilizarse, se procede a realizar los ensayos de laboratorio siguiendo las normas emitidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN a fin de determinar las propiedades físicas y mecánicas que éstos presenten. Luego se efectúa los diseños de mezclas de hormigón de prueba sin fibra realizando las correcciones a la dosificación y seguidamente los diseños de mezclas de prueba de hormigón con fibra. Finalmente, con las dosificaciones definitivas se procede a la elaboración de los especímenes finales.

4.1. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados

Determinar las propiedades de los agregados es de gran importancia para definir los parámetros que servirán en la dosificación de las mezclas de hormigón. Para ello, se obtuvo muestras representativas de ambas canteras de acuerdo a lo establecido en la norma NTE INEN 695:2010 (Áridos. Muestreo.) en donde se señalan las precauciones necesarias para conseguir las muestras que reflejen la naturaleza y condición de los materiales que representan.

Las propiedades de los agregados que se estudiaron son:

4.1.1. Análisis granulométrico.

El análisis granulométrico consiste en dividir una muestra representativa de una masa de agregados en fracciones de igual tamaño de partículas. Asimismo la determinación de la cuantía en cada fracción se denominara como ensayo de granulometría.

La determinación del tamaño de los granos que conforman un árido es muy importante en el diseño de mezclas de hormigón, ya que sirve para calcular las proporciones de agua y cemento que deberán emplearse en la mezcla.

El análisis granulométrico, como lo indica la norma NTE INEN 696, se lo consigue cribando una cantidad de material a través de una serie de tamices normalizados de abertura cuadrada y ordenados por la dimensión de la abertura, son colocados de mayor a menor, de manera que sirva para establecer la distribución porcentual en masa de los tamaños de las partículas. El proceso de cribado o tamizado se lo puede realizar de manera manual o mecanizada.

La columna de tamices que comúnmente se utiliza son los siguientes:

- Agregado grueso: 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜", No. 4.
- Agregado fino: No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100.

El porcentaje de árido retenido en cada tamiz, en base a la masa total de la muestra de ensayo, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = \frac{B}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

P = porcentaje del árido retenido en un determinado tamiz, %.

A = masa de la muestra de ensayo secada al horno a una temperatura de 110°C ± 5°C y/o enfriada al ambiente, kg.

B = masa de la cantidad de material retenida en un determinado tamiz, kg.

Una vez obtenidos los valores de las diferentes fracciones granulométricas se procede a representarlos gráficamente. En esta gráfica se puede visualizar de mejor manera la distribución de tamaños que posee una masa de agregados y conocer que tan grueso o fino es el material.

Se debe establecer la curva granulométrica de cada árido, la misma que generalmente se representa, sobre el eje de las abscisas las aberturas de los tamices, en escala logarítmica; y sobre el eje de las ordenadas los porcentajes en peso que pasa por cada tamiz en escala aritmética.

Del análisis granulométrico de un agregado se extraen distintos factores de importancia al momento de la dosificación de la mezcla de hormigón, los cuales son:

- **Módulo de finura (MF):** el módulo de finura tanto para el agregado grueso como para el fino se determina sumando los porcentajes retenidos acumulados de la masa de cada uno de los tamices de la serie especificada y dividiendo esta suma entre 100. El módulo de finura del agregado fino es útil para establecer las proporciones de agregado fino y grueso en el hormigón. El agregado fino debe tener un módulo de finura en un rango de 2,30 hasta 3,10 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; mientras que, cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas no operables (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004).
- **Tamaño máximo (TM):** el tamaño máximo está definido como el menor tamiz por el cual debe pasar toda la muestra de agregado grueso.
- **Tamaño máximo nominal (TMN):** el tamaño máximo nominal se define como el menor tamiz por el cual debe pasar la mayor parte de la muestra del agregado

grueso; por tal razón, el tamiz del tamaño máximo nominal puede retener desde un 5% al 15 % de la masa de la muestra ensayada.

En la Tabla 4.1. y 4.2. se presenta un resumen de los valores obtenidos de módulo de finura (MF) y de tamaño máximo nominal (TMN). Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS.

Tabla 4.1. Módulo de finura (MF) del agregado fino.

N° ENSAYO	MÓDULO DE FINURA (MF)	
	CANTERA RÍO BOQUERON	CANTERA RÍO MALACATOS
Ensayo N° 1	2,82	2,71
Ensayo N° 2	2,79	2,69
Promedio=	2,81	2,70

Fuente: El Autor

Tabla 4.2. Tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso.

N° ENSAYO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (TMN)	
	CANTERA RÍO BOQUERON	CANTERA RÍO MALACATOS
Ensayo N° 1	1 ½"	¾"
Ensayo N° 2	1 ½"	¾"
Promedio=	1 ½"	¾"

Fuente: El Autor

4.1.2. Presencia de limo y arcilla.

Una de las sustancias perjudiciales que se presentan en los agregados son los materiales más finos que 75 µm (tamiz No. 200), especialmente el limo y la arcilla.

El material fino se puede presentar como polvo en estado suelto y puede formar una capa de revestimiento en las partículas del agregado. Este revestimiento debilita la adherencia entre la pasta del cemento y el agregado, afectando la resistencia y durabilidad de la mezcla. Por otro lado, si se tiene una cantidad excesiva de ciertos tipos de limos o arcillas, la cantidad necesaria de agua en la mezcla puede aumentar considerablemente.

Para determinar en el árido la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) se usa la norma NTE INEN 697, en donde establece que se debe lavar la muestra en un modo determinado. El agua que es producto del lavado que contiene material disuelto y en suspensión se debe filtrar a través del tamiz de 75 µm. Los procedimientos de lavado de la norma son:

- Procedimiento A, utiliza únicamente agua para la operación de lavado.

- Procedimiento B, incluye un agente dispersor para ayudar a la separación del material que pasa por el tamiz con aberturas de 75 µm (No. 200).

El porcentaje de material más fino que el tamiz de 75 µm por lavado, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde:

A = porcentaje de material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No. 200) mediante lavado, expresado en %.

B = masa seca original de la muestra, g.

C = masa seca de la muestra luego del lavado, g.

Los umbrales para el contenido de material fino son los siguientes:

- Para hormigón sujeto a abrasión, debe ser menor o igual al 3 %.
- Todos los demás hormigones, debe ser menor o igual al 5 %.
- En el caso de arena manufacturada los límites pueden aumentarse a 5 % y 7 %.

En la Tabla 4.3. se presenta un resumen de los valores obtenidos de porcentajes de material más fino. Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS.

Tabla 4.3. Porcentajes de material más fino que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en los agregados investigados

N° ENSAYO	PORCENTAJE DE MATERIAL QUE EL TAMIZ DE 75 µm POR LAVADO	
	CANtera RÍO BOQUERON	CANtera RÍO MALACATOS
Ensayo N° 1	2,73	2,52
Ensayo N° 2	2,90	2,30
A =	2,82	2,41

Fuente: El Autor.

4.1.3. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción.

La densidad es la masa de las partículas por unidad de volumen. El agua tiene generalmente una densidad de 1000 kg/m³, aunque puede variar según la normativa que se emplee para la realización del ensayo.

En cambio, la densidad relativa (gravedad específica) se define como la relación entre la densidad de un material y la densidad del agua a una temperatura de 23 °C. Según la condición en que se encuentre el agregado, con respecto a su humedad, se derivan tres tipos de densidades relativas como son:

1. Densidad relativa seca al horno (DRSH), es la relación de la densidad seca al horno (SH) del agregado con la densidad del agua a una temperatura de 23 °C.
2. Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS), es la relación de la densidad saturado superficialmente seco (SSS) del agregado con la densidad del agua a una temperatura de 23 °C.
3. Densidad relativa aparente (DRA), es la relación de la densidad aparente de agregado con la densidad del agua a una temperatura de 23 °C.

La densidad relativa es la característica que se utiliza generalmente en el diseño de mezclas de concreto con el fin de obtener el volumen ocupado por el agregado en el hormigón. La densidad relativa (DRSSS) se utiliza si el árido está húmedo, esto es, si ha alcanzado su absorción; por el contrario, la densidad relativa (DRSH) se utiliza para los cálculos cuando el árido está seco o se asume que está seco. La mayoría de agregados normales poseen una densidad relativa con un rango de 2,40 a 2,90, que representan una densidad desde 2400 a 2900 kg/m³.

La capacidad de absorción es el incremento en la masa del agregado debido al agua que está presente en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior del agregado, expresado como un porcentaje de la masa seca.

4.1.3.1. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción para el agregado grueso.

Para determinar la densidad y la absorción del agua en el agregado grueso se utiliza la Norma NTE INEN 857, en donde se muestran las siguientes ecuaciones:

$$\mathbf{DRSH} = \frac{A}{B - C} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$\mathbf{DRSSS} = \frac{B}{B - C} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$\mathbf{DRA} = \frac{A}{A - C} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

$$\mathbf{Absorción (\%)} = \frac{B - A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

Donde:

A = Masa en aire de la muestra seca al horno, g.

B = Masa en aire de la muestra saturada-superficialmente-seca, g.

C = Masa aparente en agua de la muestra saturada, g.

En la Tabla 4.4. se presenta un resumen de los valores obtenidos de densidades y absorción del agregado grueso. Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS.

Tabla 4.4. Valores obtenidos de densidades y absorción del agregado grueso.

PARÁMETRO	CANTERA RÍO BOQUERON			CANTERA RÍO MALACATOS		
	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Valor promedio	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Valor promedio
DRSH:	2,577	2,594	2,585	2,576	2,571	2,573
DRSSS:	2,610	2,629	2,620	2,624	2,621	2,622
DRA:	2,666	2,690	2,678	2,707	2,705	2,706
Absorción (%):	1,30	1,38	1,34	1,89	1,93	1,91
Densidad (SH):	2578,74 kg/m ³			2566,97 kg/m ³		
Densidad (SSS):	2613,25 kg/m ³			2615,94 kg/m ³		
Densidad aparente:	2671,17 kg/m ³			2699,49 kg/m ³		

Fuente: El Autor

4.1.3.2. Densidad, densidad relativa y capacidad de absorción para el agregado fino.

Para el agregado fino, la determinación de la densidad y el contenido de absorción de agua se empleó la norma NTE INEN 856. Las densidades y el contenido de absorción se obtienen mediante las ecuaciones establecidas en la norma.

$$DRSH = \frac{A}{B + S - C} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$DRSSS = \frac{S}{B + S - C} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$DRA = \frac{A}{B + A - C} \quad \text{Ecuación 4.9}$$

$$\text{Absorción}(\%) = \frac{S - A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 4.10}$$

Donde:

A = Masa de la muestra seca al horno, g.

B = Masa del picnómetro lleno con agua hasta la marca de calibración, g.

C = Masa picnómetro lleno con muestra + agua hasta la marca de calibración, g.

S = Masa de la muestra saturada-superficialmente-seca, valor constante e igual a = 500 g.

En la Tabla 4.5. se presenta un resumen de los valores obtenidos de densidades y absorción del agregado fino. Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS.

Tabla 4.5. Valores obtenidos de densidades y absorción del agregado fino.

PARÁMETRO	CANTERA RÍO BOQUERON			CANTERA RÍO MALACATOS		
	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Valor promedio	Ensayo N° 1	Ensayo N° 2	Valor promedio
DRSH:	2,544	2,522	2,533	2,483	2,493	2,488
DRSSS:	2,588	2,573	2,581	2,547	2,551	2,549
DRA:	2,661	2,659	2,660	2,654	2,647	2,650
Absorción (%):	1,73	2,04	1,89	2,60	2,33	2,47
Densidad (SH):	2526,60 kg/m ³			2481,52 kg/m ³		
Densidad (SSS):	2574,21 kg/m ³			2542,70 kg/m ³		
Densidad aparente:	2653,24 kg/m ³			2643,67 kg/m ³		

Fuente: El Autor.

4.1.4. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) en el agregado fino y grueso

La masa unitaria (peso volumétrico) de un material es la masa de dicho material necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. En la masa unitaria, además del volumen ocupado por los agregados, se debe tener en cuenta los vacíos que existen entre las partículas de agregado.

La masa unitaria de un agregado puede establecerse de forma compactada o suelta. Para la dosificación de una mezcla se necesita el valor de la masa unitaria compactada; mientras que, la masa unitaria suelta sirve para estimar la cantidad de material de un agregado para adquirirlo, siempre y cuando, el agregado se venda por volumen (volumen suelto). Los valores de masa unitaria de un agregado en la mezcla hormigón varían de 1200 a 1750

kg/m³, resultando mayor el valor de la masa unitaria compactada con respecto a la masa unitaria suelta.

Para determinar la masa unitaria de los agregados, ya sea en estado suelto o compactado, se utilizó la norma NTE INEN 858. El ensayo se fundamenta en llenar un recipiente estandarizado en una forma normalizada; para luego determinar la masa unitaria como el cociente entre la masa de agregado contenido en el recipiente y el volumen de dicho recipiente.

Según la norma, existen tres procedimientos para la consolidación del agregado en el recipiente dependiendo del tamaño máximo de las partículas que conforman el agregado. Estos procesos son:

- Procedimiento por paladas para determinar la masa unitaria suelta del agregado: consiste en dejar caer el material libremente desde una altura no superior a 50 mm por encima de la parte superior del recipiente.
- Procedimiento por varillado para determinar la masa unitaria compactada del material: se aplica en agregados que presenten un tamaño máximo nominal de 37,5 mm o menor y consiste en llenar el recipiente con el material en tres capas compactando cada una de ellas con 25 varilladas.
- Procedimiento por sacudidas para establecer la masa unitaria compactada del material: se emplea en agregados que presenten un tamaño máximo nominal superior a 37,5 mm y que no excedan de 125 mm; éste procedimiento consiste en llenar el recipiente con el material en tres capas, en donde cada capa se debe compactar levantando el recipiente unos 50 mm sobre la base y dejándolo caer 50 veces de manera que se produzca un golpe seco y fuerte.

Para calcular la masa unitaria por cualquiera del procedimiento escogido según las condiciones que se presenten, se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = \frac{(G - T)}{V} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

Donde:

M = masa unitaria (peso volumétrico) del agregado, kg/m³.

G = masa del agregado más el molde, kg.

T = masa del molde, kg.

V = volumen del molde, m³.

En la Tabla 4.6. se presenta un resumen de los valores obtenidos de masa unitaria suelta y compactada de los agregados. Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS.

Tabla 4.6. Valores de masa unitaria suelta y compactada de los agregados investigados.

N° ENSAYO	MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) (kg/m ³)			
	AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO	
	COMPACTADA	SUELTA	COMPACTADA	SUELTA
CANTERA RÍO BOQUERÓN				
Ensayo N° 1	1658,86	1576,60	1907,97	1775,29
Ensayo N° 2	1659,52	1576,93	1908,14	1773,96
Ensayo N° 3	1658,20	1576,27	1909,63	1774,63
Valor Promedio:	1658,86	1576,60	1908,58	1774,63
CANTERA RÍO MALACATOS				
Ensayo N° 1	1533,57	1441,43	1790,00	1625,71
Ensayo N° 2	1539,29	1455,71	1822,86	1651,43
Ensayo N° 3	1540,71	1447,14	1802,14	1677,14
Valor Promedio:	1537,86	1448,10	1805,00	1651,43

Fuente: El Autor

4.1.5. Resistencia a la abrasión o al desgaste del agregado grueso.

La resistencia a la abrasión o al desgaste del agregado es una de las propiedades físicas de mayor importancia al momento de diseñar una mezcla de hormigón y depende básicamente de las características que presente el agregado. La resistencia a la abrasión se usa generalmente como un indicador de calidad de los agregados ya que proporciona cierta información acerca de la durabilidad y resistencia de éstos. Esta propiedad es esencial cuando los agregados van a ser utilizados en hormigón sujeto al desgaste o al roce continuo como es el caso de pisos o pavimentos.

Para determinar la resistencia a la abrasión en el agregado grueso, se usó la norma NTE INEN 860. Se coloca una cantidad especificada de agregado de gradación normalizada y una carga abrasiva (esferas de acero) dentro de un tambor cilíndrico de acero conocido como Máquina de los Ángeles y se aplica un número determinado de revoluciones, de manera que se produzca el choque entre el agregado y las bolas de acero. El choque continuo de las partículas de agregado con la carga abrasiva permitirá evaluar la resistencia a la abrasión por medio de la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje.

La masa requerida de agregado a utilizarse en el ensayo y que debe presentar una gradación normalizada, se indica en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Gradación de la muestra de ensayo.

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
		Tipo de Gradación			
Pasante de	Retenido en	A	B	C	D
37,50	25,00	1250 ± 25	-----	-----	-----
25,00	19,00	1250 ± 25	-----	-----	-----
19,00	12,50	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
12,50	9,50	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
9,50	6,30	-----	-----	2500 ± 10	-----
6,30	4,75	-----	-----	2500 ± 10	-----
4,75	2,36	-----	-----		5000 ± 10
TOTAL=		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Norma NTE INEN 860:2011 Primera Revisión.

De igual manera la masa de carga abrasiva que consiste en esferas de acero se debe seleccionar en función al tipo de gradación granulométrica del agregado utilizado, como se muestra en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Carga abrasiva en función de la gradación del agregado.

Tipo de Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	(5000 ± 25)
B	11	(4584 ± 25)
C	8	(3330 ± 20)
D	6	(2500 ± 15)

Fuente: Norma NTE INEN 860:2011 Primera Revisión.

Además en el ensayo se debe tomar en cuenta que:

- El peso de las esferas entre 390 y 445 gramos.
- El diámetro de las esferas es de 1 ²⁷/₃₂ pulgadas.
- El número de revoluciones a que debe girar la Máquina de los Ángeles es de 500.
- La velocidad a que debe girar la máquina esta entre 30 a 33 r.p.m.

El desgaste o valor de la abrasión experimentado por la muestra del agregado grueso se calcula con el uso de la ecuación:

$$D(\%) = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Donde:

D = valor relativo de degradación, expresado en %.

B = masa inicial de la muestra de ensayo, g.

C = masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70 mm, después del ensayo, g.

En la Tabla 4.9. se presenta un resumen de los valores obtenidos de resistencia a la abrasión del agregado grueso. Ver ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS.

Tabla 4.9. Valores obtenidos de resistencia a la abrasión del agregado grueso.

N° ENSAYO	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN	
	CANtera RÍO BOQUERON	CANtera RÍO MALACATOS
Ensayo N° 1	34,99	31,87
Ensayo N° 2	35,89	32,38
D (%) =	35,44	32,13

Fuente: El Autor.

De la Tabla 4.9. se puede decir que los resultados de las dos muestras son satisfactorios dado que la norma NTE INEN 872 (Áridos para hormigón. Requisitos.) establece un valor de desgaste máximo del 50 %.

4.1.6. Contenido de humedad en los agregados.

La estructura interna de una partícula de agregado está conformada por materia sólida y por poros, los cuales pueden o no estar llenos de agua, dado que los agregados poseen un determinado grado de humedad.

La determinación del contenido de humedad de un agregado sirve para controlar el agua total de una mezcla y para establecer las cantidades adecuadas de los materiales que integran la mezcla de hormigón.

Los estados de humedad que pueden presentar los agregados se muestran en la Figura 4.1. y se las puede definir como:

- **Secado al horno:** ningún poro con agua, totalmente absorbente.
- **Secado al aire:** la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente.
- **Saturado con superficie seca:** No absorben ni ceden agua al hormigón.
- **Húmedos:** Contiene un exceso de agua sobre la superficie.

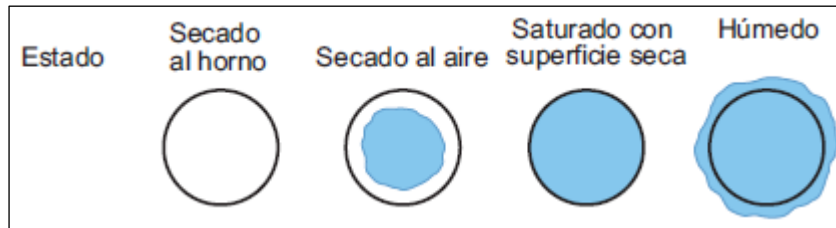


Figura 4.1. Estados de humedad de los agregados.

Fuente: Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., y Tanesi, J. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association. (pp. 115). Mexico: Grupo Apasco.

Para establecer el porcentaje de contenido de humedad de los agregados se usó la norma NTE INEN 862, la misma que consiste en someter una muestra de agregado normalizada a un proceso de secado en horno hasta eliminar la humedad tanto superficial como la retenido en los poros, con fin de comparar su masa antes y después de dicho proceso.

La ecuación para calcular el contenido total de humedad en porcentaje es la siguiente:

$$P(\%) = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad \text{Ecuación 4.13}$$

Donde:

P = contenido total de humedad evaporable, expresado en %.

W = masa de la muestra original, g.

D = masa de la muestra seca, g.

En la investigación, durante la elaboración del hormigón se determinó frecuentemente el contenido total de humedad de los agregados con el fin de corregir la dosificación de la mezcla.

4.2. Diseño de mezclas de hormigón para probetas de prueba sin fibra

En esta sección se detallará el procedimiento para la obtención de la dosificación apropiada, por medio del método propuesto por el ACI, que cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada.

Las consideraciones generales a tomarse en cuenta en el diseño de mezclas de prueba son:

- **Resistencia a la compresión:** la resistencia a la compresión especificada del hormigón es de 35 MPa (350 kgf/cm²).
- **Condiciones de exposición:** las condiciones de exposición para la estructura van a ser normales, en consecuencia la determinación de la relación agua/cemento puede determinarse usando la Tabla 2.14.

- **Densidad del cemento:** la densidad del cemento seleccionado es de 3000 kg/m³.

4.2.1. Diseño de mezclas con agregados de la cantera río Boquerón.

Para el diseño de mezclas se requiere de parámetros de los agregados, que se obtienen de ensayos realizados en laboratorio, los cuales se describieron en la sección 4.1. y se resumen en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Resultados de ensayos realizados a los agregados de la cantera río Boquerón.

Parámetro	Valores		Unidad
	Agregado grueso	Agregado fino	
Tamaño máximo nominal	1 ½"	-	
Módulo de finura	-	2,81	
Densidad (SSS)	2613,25	2574,21	kg/m ³
Porcentaje de absorción	1,34	1,89	%
Masa unitaria compactada	1658,86	1908,58	kg/m ³

Fuente: El Autor.

El procedimiento para encontrar la dosificación apropiada con el fin de obtener la resistencia de 35 MPa es el siguiente:

1. Se debe seleccionar el valor de asentamiento para el hormigón a diseñarse, mediante la Tabla 2.11. se obtiene un valor de 75 mm como máximo y de 25 mm como mínimo.
2. Se determina la resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}).

Para un hormigón con una resistencia a la compresión especificada $f'_c = 350$ kgf/cm², se utiliza la siguiente ecuación (ver Tabla 2.4.):

$$f'_{cr} = f'_c + 84$$

Con lo que se obtiene $f'_{cr} = 434$ kgf/cm².

3. Se determina la cantidad de agua de la mezcla y su contenido de aire por m³ de hormigón (empleando la Tabla 2.12.), usando el tamaño máximo nominal del agregado y el asentamiento seleccionado para la mezcla.

Agua = 181 kg/m³ de hormigón

Aire incluido = 1 %

4. Se establece la relación agua/cemento mediante la Tabla 2.14. haciendo una interpolación, tomando en consideración la resistencia característica requerida del

hormigón (f'_{cr}) calculada en el paso n° 2 y teniendo en cuenta que el hormigón se va a diseñar sin aire incluido.

Resistencia	Relación a/c
450	0,38
434	x
400	0,43

$$\frac{450 - 400}{450 - 434} = \frac{0,38 - 0,43}{0,38 - x}$$

$$x = 0,38 + \frac{0,05 * 16}{50} = 0,40$$

La relación agua/cemento es 0,40, sin embargo para asegurar que el hormigón cumpla con la resistencia especificada se ha tomado la relación agua/cemento correspondiente a 450 kgf/cm², es decir de **0,38**.

5. Se calcula la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón:

Relación agua/cemento = 0,38

Agua = 181 kg

$$Cemento = \frac{Masa\ de\ agua}{Relación\ agua/cemento} = \frac{181\ kg}{0,38}$$

Cemento = 476,32 kg

6. Se determina el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón mediante la Tabla 2.15. realizando una interpolación para valores intermedios, y tomando en consideración el módulo de finura del agregado fino (MF = 2,81) así como el tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN = 1 ½”).

Módulo de finura	Volumen de agregado grueso x m ³
2,80	0,71
2,81	x
3,00	0,69

$$\frac{2,80 - 3,00}{2,80 - 2,81} = \frac{0,71 - 0,69}{0,71 - x}$$

$$x = 0,71 - \frac{0,02 * 0,01}{0,20} = 0,709$$

De lo cual se obtiene:

$$\text{Volumen de agregado grueso por m}^3 = 0,709$$

Se calcula la masa de agregado grueso (grava):

$$\text{Masa agregado grueso} = \text{Vol agregado grueso} * \text{Masa unitaria compactada}$$

$$\text{Masa agregado grueso} = 0,709 \text{ m}^3 * 1658,86 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa agregado grueso} = 1176,13 \text{ kg}$$

7. Se estima la masa del agregado fino de la siguiente manera:

Material	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	181,00	1000	0,181
Cemento	476,32	3000	0,159
Agregado grueso	1176,13	2613,25	0,450
Aire	0,01		0,01
Total=			0,800
Volumen de agregado fino=			0,200

$$\text{Masa agregado fino} = \text{Vol agregado fino} * \text{Densidad (SSS) agregado fino}$$

$$\text{Masa agregado fino} = 0,200 \text{ m}^3 * 2574,21 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa agregado fino} = 514,84 \text{ kg}$$

8. Se realiza los ajustes en la dosificación determinando el contenido de humedad de los agregados un día antes de realizar la mezcla. Se efectúan las correcciones en los pesos de los agregados y en el peso del agua de mezclado tomando en cuenta lo indicado en la sección 2.3.1.

9. La dosificación final obtenida por el método del ACI para $f'_c = 35$ MPa es la siguiente:

Tabla 4.11. Dosificación de prueba con agregados de la cantera río Boquerón.

Material	Masa (kg)	Proporción
Agua	181,00	0,38
Cemento	476,32	1,00
Agregado fino	514,84	1,08
Agregado grueso	1176,13	2,47

Fuente: El Autor.

4.2.1.1. Preparación de las probetas de prueba.

Las probetas de prueba a utilizarse en la investigación son de forma cilíndrica, las cuales deben presentar las siguientes características:

1. La longitud debe ser el doble del diámetro.
2. El diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Los cilindros tienen de diámetro = 150 mm y altura = 300 mm. Estos son los más utilizados y además cumplen con las características descritas anteriormente.

Se elaboraron nueve (9) probetas cilíndricas de hormigón para cada dosificación. De estas se ensayaron tres (3) probetas a los 7, 14 y 28 días. Para estimar las cantidades de material requerido para elaborar el número de probetas, se hizo de la siguiente forma:

$$\text{Volumen hormigón} = \# \text{probetas} * \text{volumen cilindro} = 9 * (\pi * r^2 * h)$$

$$\text{Volumen hormigón} = 9 * (\pi * (0,075 \text{ m})^2 * 0,30 \text{ m}) = 0,048 \text{ m}^3$$

En base a la dosificación de diseño de la Tabla 4.11. para 35 MPa se obtiene las cantidades requeridas para la fabricación de nueve probetas cilíndricas de hormigón como se muestra en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12. Material requerido para elaborar nueve probetas cilíndricas.

Material	Masa (kg)
Agua	8,69
Cemento	22,86
Agregado fino	24,71
Agregado grueso	56,45

Fuente: El Autor.

4.2.1.2. Análisis del hormigón elaborado.

- Asentamiento

El asentamiento de la mezcla se obtuvo conforme a la norma NTE INEN 1578 – Determinación del Asentamiento. Éste no cumplió con lo especificado en el diseño de la mezcla, resultando un valor de 20 mm. Por tal razón, para poder conseguir el asentamiento apropiado fue necesaria la utilización del aditivo plastificante Aditec 100N.

La dosis de aditivo recomendada fue de 200 cc por cada 50 kg de cemento. Entonces, la cantidad de aditivo de la mezcla es:

$$\text{Cantidad de aditivo (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{dosis (cc)}}{1000} * \frac{\text{cantidad de cemento por m}^3}{50} \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Con la inclusión del aditivo, la mezcla de hormigón presentó una mejor trabajabilidad con un asentamiento dentro de los límites para el cual se lo diseñó. Las cantidades de aditivo para las dosificaciones de prueba se muestran en la Tabla 4.13.

- Resistencias a compresión de probetas de prueba

Luego de elaborar las probetas, utilizando la dosificación que se indicó en la Tabla 4.12. y someterlas al ensayo de resistencia a la compresión simple, se pudo evidenciar que los valores obtenidos no cumplen con el porcentaje mínimo de resistencia esperado en cada edad de ensayo. Ante ello, se realizó dosificaciones disminuyendo la relación agua/cemento con el fin de alcanzar la resistencia especificada de 35 MPa a los 28 días. Las dosificaciones realizadas se muestran en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Dosificaciones de prueba con distintas relaciones agua/cemento para agregados de la cantera río Boquerón.

Material	Masa (kg)			
	a/c=0,38	a/c=0,35	a/c=0,32	a/c=0,30
Agua	181,00	181,00	181,00	181,00
Cemento	476,32	517,14	565,63	603,33
Agregado fino	514,84	481,38	437,62	406,73
Agregado grueso	1176,13	1176,13	1176,13	1176,13
Aditivo	-	2,07	2,26	2,41

Fuente: El Autor.

Nuevamente se elaboraron nueve probetas cilíndricas con las nuevas dosificaciones y se ensayaron a los 7, 14 y 28 días de edad.

4.2.1.3. Elección de la dosificación apropiada.

Luego de elaborar y ensayar las probetas de la etapa de prueba, se procedió a realizar la comparación entre las resistencias de compresión conseguidas en cada dosificación mediante la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Comparación de resistencias obtenidas entre las dosificaciones diseñadas con agregados de la cantera río Boquerón.

Edad (días)	Dosificaciones							
	Relación a/c=0,38		Relación a/c=0,35		Relación a/c= 0,32		Relación a/c=0,30	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%	MPa	%
7	20,8	59,3	22,9	65,4	23,5	67,2	25,5	72,9
14	24,4	69,7	27,8	79,5	28,3	81,0	31,6	90,4
28	28,3	80,9	31,6	90,4	35,9	102,5	38,0	108,7

Fuente: El Autor.

Además se elaboró una gráfica comparativa con respecto a las resistencias a compresión que se obtuvieron en cada edad de ensayo la misma que se muestra en la Figura 4.2.

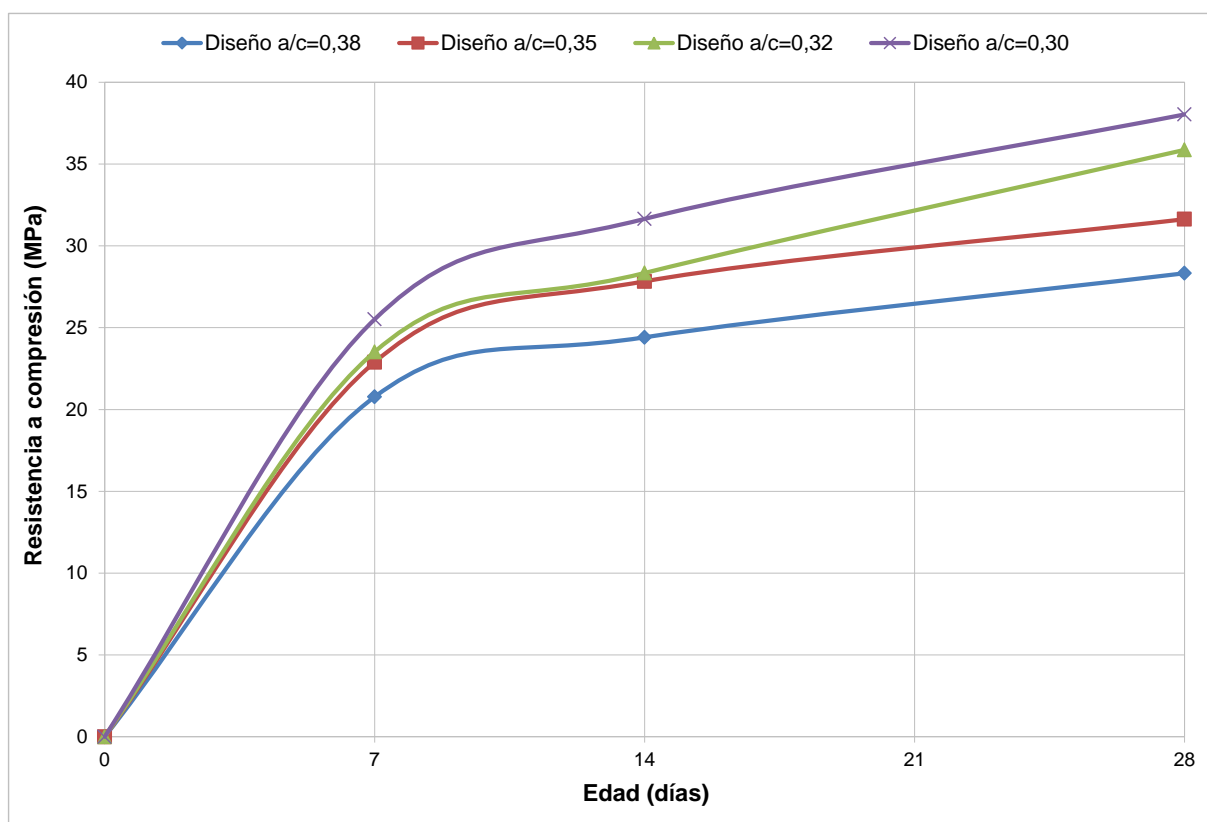


Figura 4.2. Diseño de mezclas método ACI diseñadas para lograr probetas con $f'_c = 35$ MPa para agregados de la cantera río Boquerón.

Fuente: El Autor.

La Figura 4.2. muestra que la dosificación que obtuvo las resistencias esperadas cercanas a $f'_c = 35$ MPa a los 28 días, es la diseñada con la relación agua/cemento = 0,32, lo cual puede ser visto en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15. Dosificación apropiada para lograr $f'_c = 35$ MPa a los 28 días con agregados de la cantera río Boquerón.

Material	Masa (kg)	Proporción
Agua	181,00	0,32
Cemento	565,63	1,00
Agregado fino	437,62	0,77
Agregado grueso	1176,13	2,08
Aditivo	2,26	

Fuente: El Autor.

Los resultados de las resistencias a compresión de las probetas cilíndricas se detallan en la Tabla 8.1. a la Tabla 8.4. del ANEXO II. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN PROBETAS DE PRUEBA SIN FIBRA.

4.2.2. Diseño de mezclas con agregados de la cantera río Malacatos.

Los parámetros de los agregados, obtenidos de ensayos realizados en laboratorio, los cuales se describieron en la sección 4.1. y que se requieren para el diseño de mezclas se resumen en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16. Resultados de ensayos realizados a los agregados de la cantera río Malacatos.

Parámetro	Valores		Unidad
	Agregado grueso	Agregado fino	
Tamaño máximo nominal	¾ "	-	
Módulo de finura	-	2,70	
Densidad (SSS)	2615,94	2542,70	kg/m ³
Porcentaje de absorción	2,47	1,91	%
Masa unitaria compactada	1537,86	1805,00	kg/m ³

Fuente: El Autor.

El procedimiento para encontrar la dosificación apropiada con el fin de obtener la resistencia de 35 MPa es el siguiente:

1. Se debe seleccionar el valor de asentamiento para el hormigón a diseñarse, mediante la Tabla 2.11. se obtiene un valor de 75 mm como máximo y de 25 mm como mínimo.
2. Se determina la resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}).

Para un hormigón con una resistencia a la compresión especificada $f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$, se utiliza la siguiente ecuación (ver Tabla 2.4.):

$$f'_{cr} = f'_c + 84$$

Con lo que se obtiene $f'_{cr} = 434 \text{ kgf/cm}^2$.

3. Se determina la cantidad de agua de la mezcla y su contenido de aire por m³ de hormigón (empleando la Tabla 2.12.), usando el tamaño máximo nominal del agregado y el asentamiento seleccionado para la mezcla.

Agua = 205 kg/m³ de hormigón

Aire incluido = 2 %

4. Se establece la relación agua/cemento mediante la Tabla 2.14 haciendo una interpolación, tomando en consideración la resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}) calculada en el paso n° 2 y teniendo en cuenta que el hormigón se va a diseñar sin aire incluido.

Resistencia	Relación a/c
450	0,38
434	x
400	0,43

$$\frac{450 - 400}{450 - 434} = \frac{0,38 - 0,43}{0,38 - x}$$

$$x = 0,38 + \frac{0,05 * 16}{50} = 0,40$$

La relación agua/cemento es 0,40, sin embargo para asegurar que el hormigón cumpla con la resistencia especificada se ha tomado la relación agua/cemento correspondiente a 450 kgf/cm², es decir de **0,38**.

5. Se calcula la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón:

Relación agua/cemento = 0,38

Agua = 205 kg

$$Cemento = \frac{Masa\ de\ agua}{Relación\ agua/cemento} = \frac{205\ kg}{0,38}$$

Cemento = 539,47 kg

6. Se determina el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón mediante la Tabla 2.15. realizando una interpolación para valores intermedios, y tomando en consideración el módulo de finura del agregado fino (MF = 2,70) así como el tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN = ¾”).

Módulo de finura	Volumen de agregado grueso x m ³
------------------	---------------------------------------------

2,60	0,64
------	------

2,70	x
-------------	----------

2,80	0,62
------	------

$$\frac{2,60 - 2,80}{2,60 - 2,70} = \frac{0,64 - 0,62}{0,64 - x}$$

$$x = 0,64 - \frac{0,02 * 0,10}{0,20} = 0,63$$

De lo cual se obtiene:

$$\text{Volumen de agregado grueso por m}^3 = 0,63$$

Se calcula la masa de agregado grueso (grava):

$$\text{Masa agregado grueso} = \text{Vol agregado grueso} * \text{Masa unitaria compactada}$$

$$\text{Masa agregado grueso} = 0,63 \text{ m}^3 * 1537,86 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa agregado grueso} = 968,85 \text{ kg}$$

7. Se estima la masa del agregado fino de la siguiente manera:

Material	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Agua	205,00	1000	0,205
Cemento	539,47	3000	0,180
Agregado grueso	968,85	2615,94	0,370
Aire	0,02		0,020
Total=			0,775
Volumen de agregado fino=			0,225

$$\text{Masa agregado fino} = \text{Vol agregado fino} * \text{Densidad (SSS) agregado fino}$$

$$\text{Masa agregado fino} = 0,225 \text{ m}^3 * 2542,70 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa agregado fino} = 571,63 \text{ kg}$$

8. Se realiza los ajustes en la dosificación determinando el contenido de humedad de los agregados un día antes de realizar la mezcla. Se efectúan las correcciones en los pesos de los agregados y en el peso del agua de mezclado tomando en cuenta lo indicado en la sección 2.3.1.

9. La dosificación final obtenida por el método del ACI para $f'_c = 35 \text{ MPa}$ es la siguiente:

Tabla 4.17. Dosificación de prueba con agregados de la cantera río Malacatos.

Material	Masa (kg)	Proporción
Agua	205,00	0,38
Cemento	539,47	1,00
Agregado fino	571,63	1,80
Agregado grueso	968,85	1,06

Fuente: El Autor.

4.2.2.1. Preparación de las probetas de prueba.

Las probetas de prueba a utilizarse en la investigación son de forma cilíndrica, las cuales deben presentar las siguientes características:

1. La longitud debe ser el doble del diámetro.
2. El diámetro del cilindro debe ser por lo menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Los cilindros tienen de diámetro = 150 mm y altura = 300 mm. Estos son los más utilizados y además cumplen con las características descritas anteriormente.

Se elaboraron nueve (9) probetas cilíndricas de hormigón para cada dosificación. De estas se ensayaron tres (3) probetas a los 7, 14 y 28 días. Para estimar las cantidades de material requerido para elaborar el número de probetas, se hizo de la siguiente forma:

$$\text{Volumen hormigón} = \# \text{probetas} * \text{volumen cilindro} = 9 * (\pi * r^2 * h)$$

$$\text{Volumen hormigón} = 9 * (\pi * (0,075 \text{ m})^2 * 0,30 \text{ m}) = 0,048 \text{ m}^3$$

En base a la dosificación de diseño de la Tabla 4.17 para 35 MPa se obtiene las cantidades requeridas para la fabricación de nueve probetas cilíndricas de hormigón como se muestra en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18. Material requerido para elaborar nueve probetas cilíndricas.

Material	Masa (kg)
Agua	9,84
Cemento	25,89
Agregado fino	27,44
Agregado grueso	46,50

Fuente: El Autor.

4.2.2.2. Análisis del hormigón elaborado.

- Asentamiento

El asentamiento de la mezcla se obtuvo conforme a la norma NTE INEN 1578 – Determinación del Asentamiento. Éste cumplió con lo especificado en el diseño de la mezcla, resultando un valor de 65 mm. Por tal razón, en este caso, no fue necesaria la utilización de un aditivo.

- **Resistencias a compresión de probetas de prueba**

Luego de elaborar las probetas, utilizando la dosificación que se indicó en la Tabla 4.18. y someterlas al ensayo de resistencia a la compresión simple, se pudo evidenciar que los valores obtenidos no cumplen con el porcentaje mínimo de resistencia esperado en cada edad de ensayo. Ante ello, se realizó dosificaciones disminuyendo la relación agua/cemento con el fin de alcanzar la resistencia especificada de 35 MPa a los 28 días. Las dosificaciones realizadas se muestran en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19. Dosificaciones de prueba con distintas relaciones agua/cemento para agregados de la cantera río Malacatos.

Material	Masa (kg)		
	a/c=0,38	a/c=0,35	a/c=0,32
Agua	205,00	205,00	205,00
Cemento	539,47	585,71	640,63
Agregado fino	571,63	532,44	485,90
Agregado grueso	968,85	968,85	968,85

Fuente: El Autor.

Nuevamente se elaboraron nueve probetas cilíndricas con las nuevas dosificaciones y se ensayaron a los 7, 14 y 28 días de edad.

4.2.2.3. Elección de la dosificación apropiada.

Luego de elaborar y ensayar las probetas de la etapa de prueba, se procedió a realizar la comparación entre las resistencias de compresión conseguidas en cada dosificación mediante la Tabla 4.20.

Tabla 4.20. Comparación de resistencias obtenidas entre las dosificaciones diseñadas con agregados de la cantera río Malacatos.

Edad (días)	Dosificaciones					
	Relación a/c=0,38		Relación a/c=0,35		Relación a/c=0,32	
	MPa	%	MPa	%	MPa	%
7	22,2	63,4	23,8	67,9	25,6	73,1
14	26,8	76,6	28,3	80,8	30,9	88,2
28	32,3	92,4	35,2	100,4	38,1	109,0

Fuente: El Autor.

Además se elaboró una gráfica comparativa con respecto a las resistencias a compresión que se obtuvieron en cada edad de ensayo la misma que se muestra en la Figura 4.3.

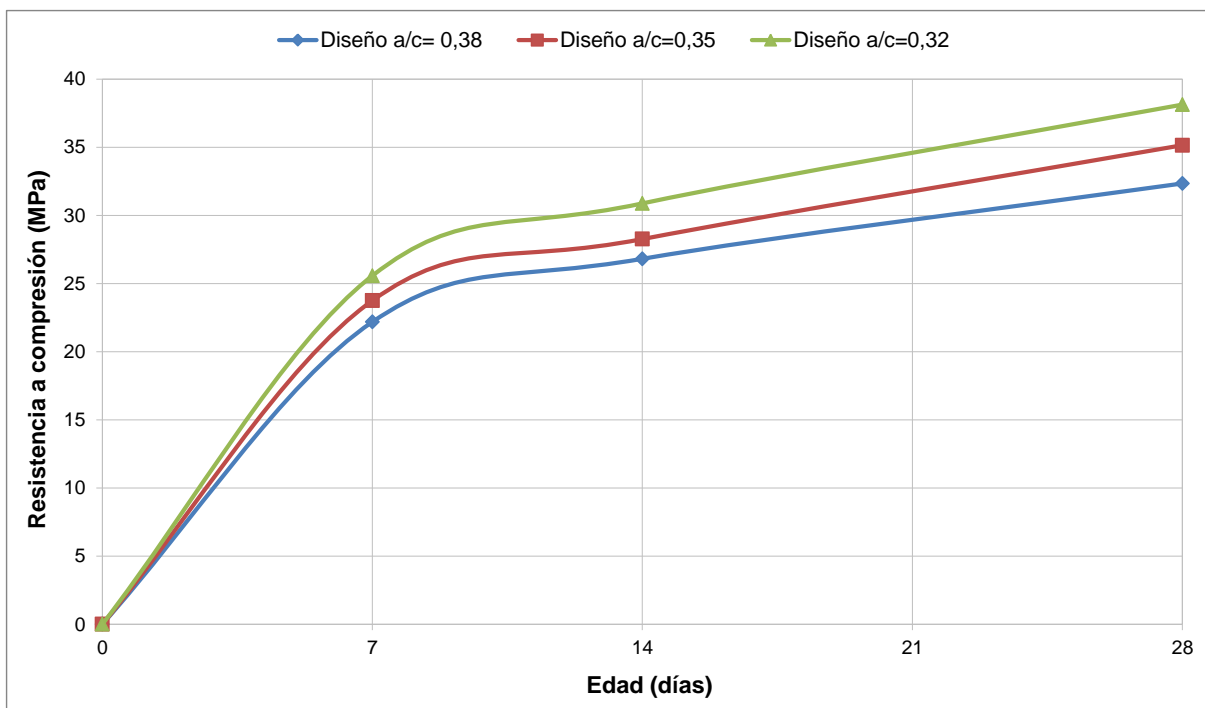


Figura 4.3. Diseño de mezclas método ACI diseñadas para lograr probetas con $f'_c = 35$ MPa para agregados de la cantera río Malacatos.

Fuente: El Autor.

La Figura 4.3. muestra que la dosificación que obtuvo las resistencias esperadas cercanas a $f'_c = 35$ MPa a los 28 días es la diseñada con la relación agua/cemento = 0,35, lo cual puede ser visto en la tabla 4.21.

Tabla 4.21. Dosificación apropiada para lograr $f'_c = 35$ MPa a los 28 días con agregados de la cantera río Malacatos.

Material	Masa (kg)	Proporción
Agua	205,00	0,35
Cemento	585,71	1,00
Agregado fino	532,44	0,91
Agregado grueso	968,85	1,65

Fuente: El Autor.

Los resultados de las resistencias a compresión de las probetas cilíndricas se detallan en la Tabla 8.5. a la Tabla 8.7. del ANEXO II. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN PROBETAS DE PRUEBA SIN FIBRA.

4.3. Diseño de mezclas de hormigón para probetas de prueba con fibra

Las dosificaciones apropiadas para probetas de prueba sin fibra diseñadas para $f'_c = 35$ MPa que mejor resultados presentaron con respecto a las condiciones de diseño tanto para agregados de la cantera río Boquerón como para agregados de la cantera río Malacatos fueron las indicadas en las Tablas 4.15 y 4.21, respectivamente.

Se elaboraron probetas usando tres concentraciones de fibra, de polipropileno y metálica, con el fin de determinar la concentración adecuada para mejorar la resistencia a compresión simple en las probetas de prueba, para lo cual se trabajó con la dosificación apropiada para agregados de la cantera río Boquerón.

4.3.1. Concentraciones de fibra en el hormigón.

Generalmente el contenido de las fibras en las mezclas se expresa como un porcentaje de volumen del hormigón. Se debe determinar una cantidad óptima de fibras a añadirse a la mezcla de hormigón con el fin de no producir una concentración alta de fibras que pueda ocasionar una modificación negativa en las propiedades mecánicas de la mezcla.

4.3.1.1. Concentración de fibra de polipropileno.

El Instituto Americano del Concreto ACI en su Reporte en Hormigón Reforzado con Fibras, señala que se han recopilado datos de prueba para compuestos que contiene fibras de polipropileno en porcentajes de volumen de fibra que van desde 0,10 % a 10 %. Además que éstos compuestos variaron sus propiedades mecánicas en gran medida y fueron afectados por el volumen de la fibra, la geometría de la fibra, el método de producción y la composición de la matriz (American Concrete Institute, 2002).

En el mismo Reporte, también se indica que se lograron resultados satisfactorios en cuanto a las propiedades del hormigón con contenidos de fibra que van desde 0,1 % a 2,0 % en volumen. El empleo de un 2,0 % es considerado como un contenido relativamente alto de fibra, dado que para lograr una resistencia aceptable se requirió la adición de un aditivo reductor de agua de alto rango al hormigón.

En base a estas indicaciones y considerando la dosis mínima de fibra recomendada por el fabricante (1 kg por m³ de hormigón) en esta investigación se adoptó tres diferentes concentraciones de fibra partiendo del valor más bajo recomendado por el ACI, con el fin de compararlas entre ellas y determinar la concentración de fibra apropiada a incorporarse al hormigón. Las concentraciones impuestas son de 0,10 %, 0,15 % y 0,20 % del volumen del hormigón.

▪ **Masa de fibra por metro cúbico de hormigón.**

Partiendo de que la fibra de polipropileno escogida para el desarrollo de esta investigación tiene una densidad aproximada de $0,91 \text{ g/cm}^3$ (Sección 3.4.1. Tabla 3.3.), se determinó la cantidad en masa de fibra que debe añadirse por metro cúbico de hormigón de la siguiente manera:

$$\text{Masa de fibra} = \text{Densidad} * \text{Concentración de fibra}$$

$$\text{Masa de fibra} = 910 \text{ kg/m}^3 * 0,001 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa de fibra} = 0,91 \text{ kg}$$

De esta forma resultan las masas de fibra para cada concentración impuesta:

- Primera concentración 0,10 %: $0,91 \text{ kg/m}^3$.
- Segunda concentración 0,15 %: $1,37 \text{ kg/m}^3$.
- Tercera concentración 0,20 %: $1,82 \text{ kg/m}^3$.

4.3.1.2. Concentración de fibra metálica.

El American Concrete Institute (2002) en base a estudios realizados señala que se logró resultados notables en las propiedades mecánicas del hormigón con la adición de fibras metálicas en las concentraciones que se indican a continuación:

- Para compresión: aumento de la resistencia de 0 a 15 %, con contenido de fibra de 0 a 1,5 % en volumen.
- Para flexión: aumento significativo en la resistencia a flexión, el cual es mayor, que los aumentos en la resistencia a tensión o compresión. Esto se ha logrado con contenidos de fibra de hasta 4 % en volumen.

Además el ACI señala un volumen de fibra metálica de 1,5 % a 2,0 % establecido en función de las investigaciones efectuadas.

De acuerdo a estas indicaciones además de las recomendaciones realizadas por el productor de la fibra Dramix, se escogió tres concentraciones de fibra metálica de 0,20 %, 0,50 % y 0,80 % del volumen del hormigón para determinar las diferencias con respecto a su resistencia a compresión y seleccionar el contenido de fibra adecuado.

▪ **Masa de fibra por metro cúbico de hormigón.**

La cantidad en masa que debe añadirse por metro cúbico de hormigón se obtiene del producto entre la concentración de la fibra por la densidad de la misma. La densidad de la

fibra metálica utilizada es de 7,84 g/cm³ (Sección 3.4.2. Tabla 3.6.), de lo cual resulta las siguientes masas de fibra para cada una de las concentraciones escogidas:

- Primera concentración 0,20 %: 15,68 kg/m³.
- Segunda concentración 0,50 %: 39,20 kg/m³.
- Tercera concentración 0,80 %: 62,72 kg/m³.

4.3.2. Preparación de las probetas de prueba con fibra.

En la fabricación de las probetas de prueba con fibra se realizaron un total de 72 probetas cilíndricas. Asimismo, para cada concentración de fibra se elaboraron 12 probetas, con un total de 36 probetas con fibra de polipropileno y 36 con fibra metálica. Las probetas se ensayaron a los 7, 14 y 28 días de edad, 4 probetas por cada edad. A continuación se presentan las dosificaciones de prueba con fibra, en base a la presentada en la Tabla 4.15.

$$\text{Volumen hormigón para 12 probetas} = 0.064 \text{ m}^3$$

Resultando así la dosificación que se muestra en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22. Material requerido para elaborar doce probetas cilíndricas.

Material	Masa (kg)	Proporción
Agua	11,58	0,32
Cemento	36,20	1,00
Agregado fino	28,01	0,77
Agregado grueso	75,27	2,08
Aditivo	0,14	

Fuente: El Autor.

La cantidad de fibra en masa a ser empleada en la mezcla de hormigón, se la obtiene del producto entre el volumen de hormigón a elaborarse y la concentración de la fibra, con lo cual se obtiene las cantidades que se indican en la Tabla 4.23. y Tabla 4.24.

Tabla 4.23. Cantidades en peso de la fibra de polipropileno por cada concentración.

Concentración (%)	Concentración (kg/m ³)	Volumen de hormigón (m ³)	Masa de fibra (g)
0,10	0,91	0,064	58,2
0,15	1,37	0,064	87,4
0,20	1,82	0,064	116,5

Fuente: El Autor.

Tabla 4.24. Cantidades en peso de la fibra metálica por cada concentración.

Concentración (%)	Concentración (kg/m³)	Volumen de hormigón (m³)	Masa de fibra (g)
0,20	15,68	0,064	1003,5
0,50	39,20	0,064	2508,8
0,80	62,72	0,064	4014,1

Fuente: El Autor.

4.3.3. Análisis del hormigón elaborado.

La mezcla de hormigón con fibras era manejable, el asentamiento resultó dentro de un rango de 35 mm a 55 mm. Con la incorporación de fibras se obtuvo un asentamiento menor respecto al hormigón elaborado sin fibra.

La apariencia de la mezcla, con la adición de las fibras, tuvo un aspecto uniforme, debido a que las fibras se mezclan de una forma rápida, fácil y sencilla, evitando se produzcan bolas o erizos de fibras en la mezcla. La cantidad de pasta fue la apropiada, así como también la relación entre agregado grueso y fino, permitiendo obtener una mezcla manejable.

4.3.4. Selección de la concentración de fibra.

Se ensayaron las probetas de prueba elaboradas con fibra para cada concentración. Las resistencias a compresión alcanzadas para cada edad, con la fibra de polipropileno y la fibra metálica se muestran en la Figura 4.4. y Figura 4.5., respectivamente.

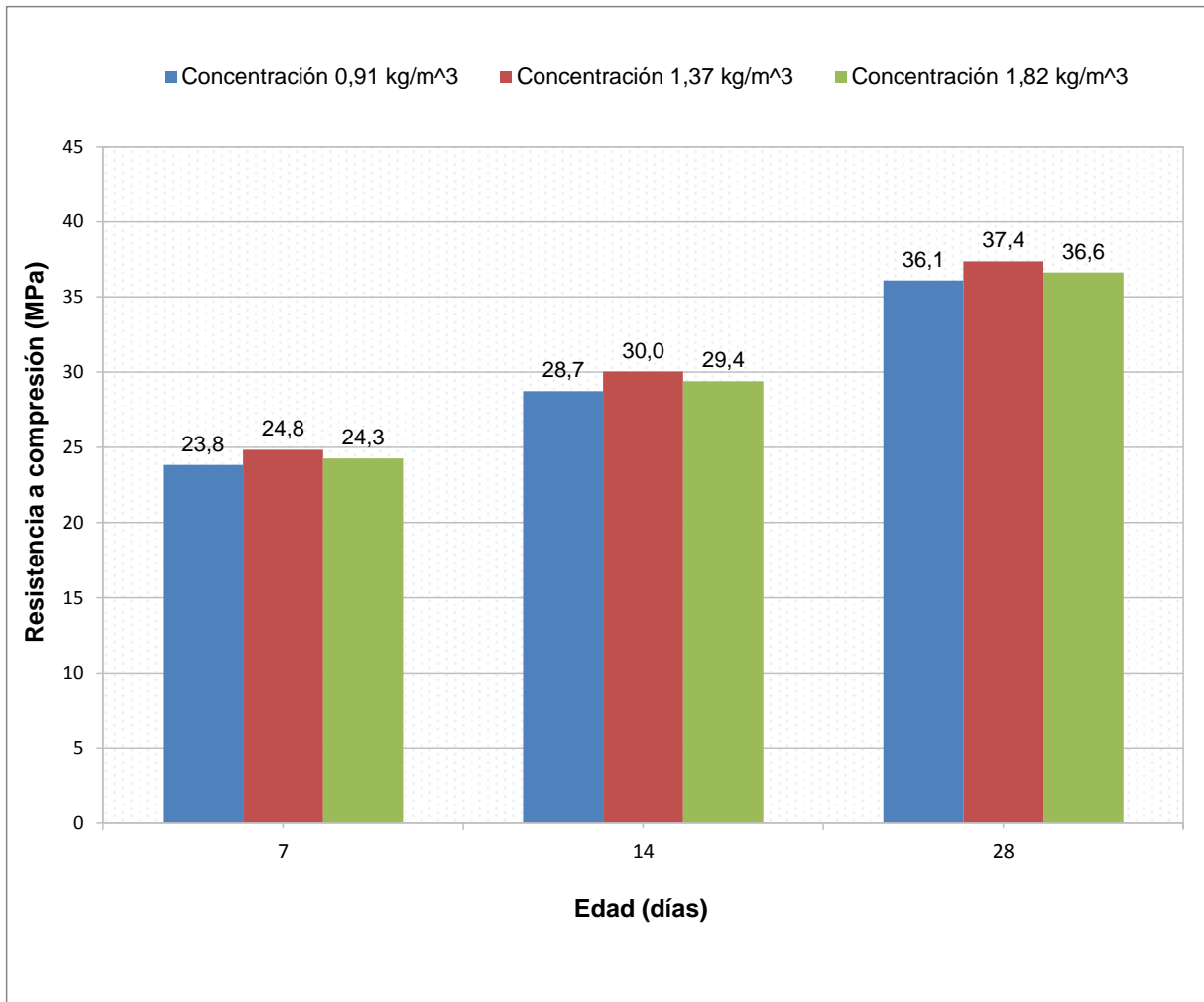


Figura 4.4. Gráfica comparativa del promedio de resistencias a compresión obtenidas con distintas concentraciones de fibra de polipropileno en probetas de prueba diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.
Fuente: El Autor.

Como se puede observar en la Figura 4.4., se obtuvieron mejores resultados con la adición de la fibra de polipropileno en una concentración de 0,15 % ($1,37 \text{ kg/m}^3$) con respecto a las otras concentraciones.

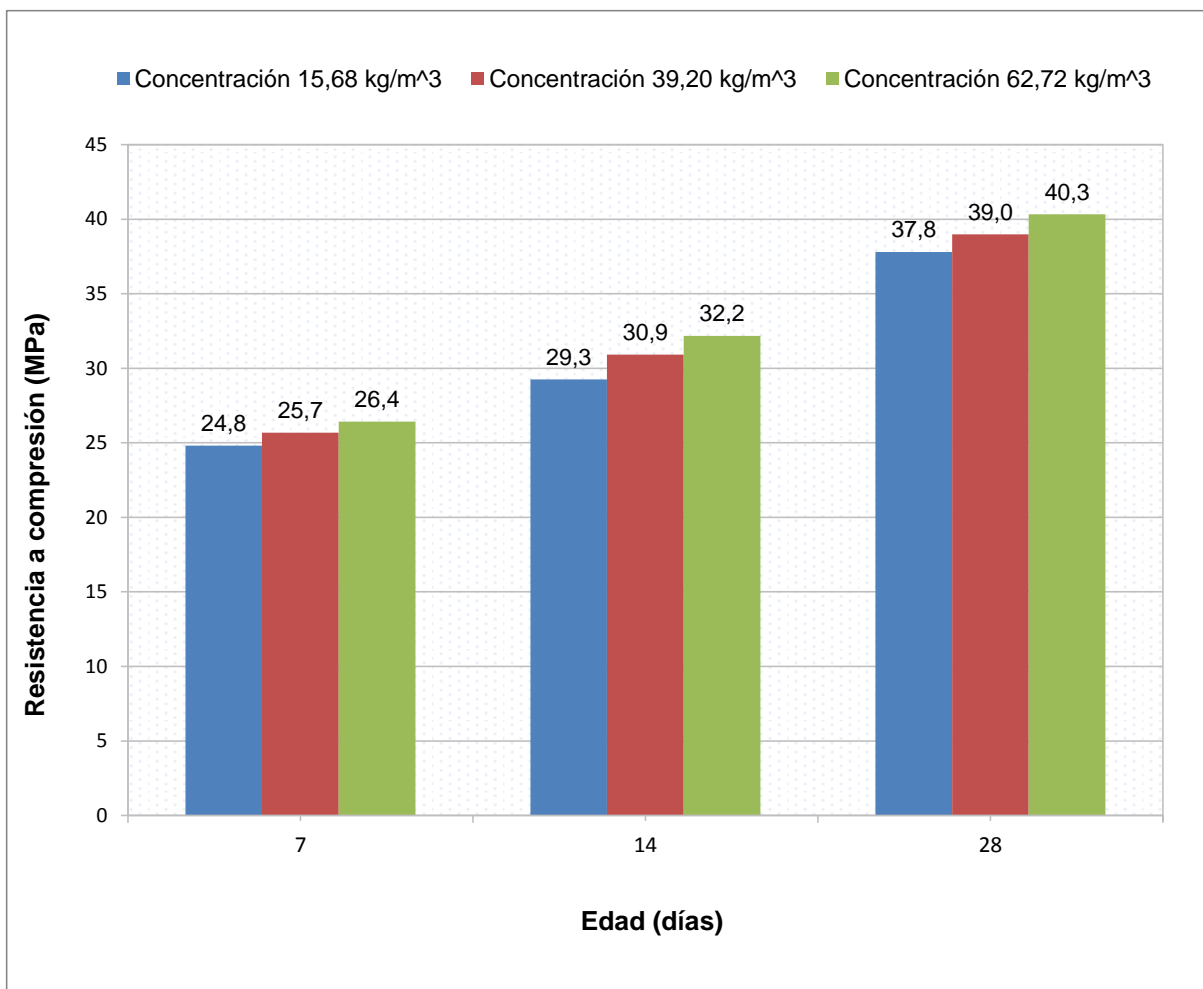


Figura 4.5. Gráfica comparativa del promedio de resistencias a compresión obtenidas con distintas concentraciones de fibra metálica en probetas de prueba diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

Fuente: El Autor.

Para el caso de la fibra metálica, de la Figura 4.5. se notó que al ir aumentando la concentración de la fibra en el hormigón se incrementó de igual manera su resistencia a la compresión. Entonces, por razones financieras se eligió una concentración de 0,50 % (39,20 kg/m³).

Los resultados de las resistencias a compresión de las probetas cilíndricas se detallan en la Tabla 8.8. a la Tabla 8.13. del ANEXO III. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN PROBETAS DE PRUEBA CON FIBRA.

4.4. Elaboración de especímenes finales en la investigación

Una vez realizado el análisis comparativo de los resultados obtenidos en las probetas de la fase de prueba se obtuvieron las dosificaciones adecuadas para conseguir una resistencia a la compresión a los 28 días de $f'_c = 35$ MPa, las cuales se presentan en la Tabla 4.15. con agregados de la cantera río Boquerón y en la Tabla 4.21. con agregados de la cantera río Malacatos.

Asimismo, se determinó el contenido de fibra a adicionar al hormigón, para la fibra de polipropileno se empleará una dosificación de 1,37 kg por m³ de hormigón, en cambio para la fibra metálica se utilizará la dosificación de 39,20 kg por m³ de hormigón.

4.4.1. Determinación del número total de especímenes.

4.4.1.1. Probetas cilíndricas.

La elaboración de las probetas definitivas, para hormigones con fibra y hormigones sin fibra, se las realizó en moldes de las mismas dimensiones utilizados en las probetas de prueba.

El ACI propone ecuaciones para determinar la resistencia media requerida a la compresión (f'_{cr}) (ver sección 2.1.2.2.3. Resistencia a la compresión), debido a que el hormigón es una mezcla heterogénea que conlleva a obtener valores de resistencias dispersos, por lo que, se necesita tener un mínimo de 15 resultados para poder considerarlo como un ensayo confiable.

En base a esta apreciación, se realizaron y ensayaron probetas de acuerdo al siguiente detalle:

- A los 7 días 10 probetas
- A los 14 días 10 probetas
- A los 28 días 25 probetas

Esto se aplica para hormigones con fibra (polipropileno y metálica) y sin fibra; y para agregados de las dos canteras. Se hicieron un total de 45 probetas sin fibra, 45 probetas con fibra de polipropileno y 45 probetas con fibra metálica, para cada cantera.

4.4.1.2. Vigas de hormigón.

Los moldes para vigas de hormigón han sido considerados de acuerdo a lo dispuesto en la norma NTE INEN 1576, la cual indica la forma y dimensiones mínimas que deben tener estos especímenes. Las vigas tienen las siguientes dimensiones: alto y altura de 150 mm y

longitud de 550 mm, cumpliendo con los valores normalizados. Las vigas servirán para determinar la resistencia a flexión del hormigón y se ensayarán sólo a la edad de 28 días. Se elaboraron 15 vigas para hormigón sin fibra, 15 para hormigón con fibra de polipropileno y 15 para hormigón con fibra metálica y para cada cantera, en base a las sugerencias del ACI.

4.4.2. Elaboración y toma de muestras de los especímenes.

La elaboración de la mezcla de hormigón, se ha hecho de acuerdo a la norma NTE INEN 1576, en la cual indica el procedimiento para la realización de las mezclas:

1. Se prepara la concretera humedeciéndola antes de cargar los materiales.
2. Se agrega una tercera parte del agua
3. Se carga el agregado grueso
4. Se carga el agregado fino
5. Se agrega otra tercera parte del agua.
6. Se agrega el cemento.
7. Finalmente se agrega el agua restante

Una vez cargados todos los componentes se deja amasar durante dos minutos hasta obtener una muestra homogénea, controlando que no quede material adherido en las paredes ni en el fondo de la mezcladora. Luego se debe realizar la medición del asentamiento de la mezcla.

Para la elaboración del hormigón con fibra se ejecutó el mismo procedimiento. Una vez obtenida la mezcla homogénea se procedió a añadir las fibras y mezclar por 3 minutos adicionales.

La fabricación de los especímenes se ha realizado conforme a lo dispuesto en la norma NTE INEN 1576, la cual establece el procedimiento para el moldeo y curado de cilindros y vigas.

❖ Los equipos esenciales para moldear los especímenes son los siguientes:

- **Moldes:** deben ser elaborados de acero, hierro fundido u otro material no absorbente y que no reaccionen con el cemento. Además deberán ser impermeables al agua y lo suficientemente fuertes y rígidos para evitar que se rompan o se deformen durante su uso. Los moldes reutilizables deben ser cubiertos ligeramente en su interior con aceite mineral o con un material desmoldante no reactivo, antes de su uso.

- **Varilla de compactación:** varilla de acero, recta, lisa y de sección circular, con un diámetro 16 mm, de 600 mm de longitud y debe tener el borde de compactación o ambos extremos redondeados, con una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.
 - **Mazo:** se debe utilizar un mazo con cabeza de caucho o cuero no tratado, con un peso de $0,6 \text{ kg} \pm 0,2 \text{ kg}$.
 - **Herramientas adicionales:** recipiente para toma de muestras que sea no absorbente con capacidad para permitir una fácil remezcla de toda la muestra, herramienta para colocación como cucharón, y herramienta para terminado que puede ser una llana o una paleta.
- ❖ La fabricación de los cilindros, se efectuó de la siguiente manera:
- a) El hormigón se vacía en el molde en tres capas de aproximadamente igual altura.
 - b) Se compacta cada capa de mezcla colocada en el molde aplicando 25 golpes con la varilla distribuidos uniformemente en toda la sección transversal del molde. La capa del fondo debe compactarse en toda su profundidad, al compactar las capas superior e intermedia la varilla debe penetrar aproximadamente 25 mm en la capa inmediatamente inferior.
 - c) Luego de que cada capa ha sido compactada, golpear las paredes exteriores del molde de 10 a 15 veces, esto se realiza con el propósito de cerrar cualquier agujero dejado por la varilla y eliminar cualquier burbuja de aire que hubiere sido atrapada.
 - d) Se retira el exceso de hormigón que tenga el molde y se enrasa la superficie.
- ❖ Las vigas se elaboraron siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación:
- a) Se vacía el hormigón en dos capas de igual altura.
 - b) El número de golpes con la varilla por cada capa, debe ser de uno por cada 14 cm^2 del área superficial de la viga, que en este caso, para la sección de 825 cm^2 ($15 \text{ cm} \times 55 \text{ cm}$) el número de golpes de compactación de cada capa es 59.
 - c) Se golpea el molde en su exterior con el fin de cerrar algún agujero y eliminar el aire atrapado.
 - d) Finalmente se retira el exceso de material y se enrasa la superficie con la tolerancia necesaria para producir una superficie plana y uniforme. En caso de faltar material para la última capa se puede colocar más mezcla antes de terminar la compactación.

4.4.3. Curado de especímenes de hormigón.

En esta investigación, se han empleado tanques de almacenamiento los cuales fueron apropiados para cubrir completamente de agua los especímenes. Cabe recalcar, que las temperaturas alcanzadas en estos tanques, conforme a las mediciones hechas durante el transcurso de la fase experimental se encontraban en un rango entre 17 °C a 22 °C.

4.4.4. Propiedades mecánicas en especímenes finales de hormigón.

Como ya se indicó anteriormente, las probetas cilíndricas se ensayaron a los 7, 14 y 28 días de edad, mientras que, las vigas fueron ensayadas únicamente a los 28 días.

4.4.4.1. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.

La determinación de la resistencia a compresión se ha realizado de acuerdo a la norma NTE INEN 1573:2010 la cual establece el método de ensayo para especímenes cilíndricos de hormigón. Se debe realizar el ensayo a compresión de los cilindros en estado húmedo, es decir, tan pronto como sea posible después de extraerlos del tanque de almacenamiento de curado.

Antes de realizar el ensayo las caras del cilindro no deben variar en más de 0,05 mm, si lo hacen estas deben ser tratadas para obtener planicidad y paralelismo de las caras. En este caso se utilizó almohadillas no adherentes de neopreno para lograr una superficie plana.

El procedimiento usado para el ensayo a compresión de los cilindros fue:

1. Una vez extraídos los cilindros, se registra su diámetro, peso y altura de cada uno de ellos.
2. Luego se procede a ubicar el cilindro en los platos de acero que provee la máquina de ensayo, las superficies de apoyo de la máquina deben ser planas y estar limpias. Se centra el cilindro con respecto al bloque de carga esférico de la máquina de ensayo.
3. Previo a la aplicación de la carga se debe verificar que el indicador de carga esté ajustado en cero, si no lo está se debe ajustar llevando el bloque de carga esférico hasta que se apoye sobre el espécimen.
4. La carga debe ser aplicada de forma continua y sin impactos, a una velocidad constante de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s. El ensayo termina hasta que se produzca la rotura, donde se registra la carga máxima soportada por la probeta y el tipo de modelo de fractura.

4.4.4.2. Resistencia a la flexión de vigas.

En el ensayo de las vigas se ha empleado la norma NTE INEN 2554:2011, la cual detalla la forma de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del hormigón mediante el uso de una viga simple apoyada en los extremos y cargada en los tercios de la luz libre.

Cabe indicar que siendo las vigas de una longitud de 550 mm, la luz libre en donde estarán colocados los apoyados será de 450 mm, y en la parte superior se aplicará la carga en los dos tercios resultantes.

Los ensayos a la flexión deben ser realizados en el menor tiempo posible luego de retirar los especímenes del tanque de almacenamiento de curado, debido a que, los especímenes con las superficies secas generan menores resistencias.

El procedimiento aplicado durante el ensayo de las vigas de hormigón se indica a continuación:

1. Voltear el espécimen de prueba húmedo para que quede de lado con respecto a su posición cuando fue moldeado, marcar la viga en sus extremos y tercios alrededor con la finalidad de facilitar la colocación y el centrado en los bloques de apoyo.
2. Aplicar la carga a una velocidad constante y sin producir impacto alguno, de manera que aumente constantemente el esfuerzo máximo sobre la cara de tracción entre 0,86 MPa/min y 1,21 MPa/min, hasta producir la rotura de la viga. Se registra la carga máxima aplicada.
3. Finalmente se determina las dimensiones de la sección transversal del espécimen, a través de una de las caras fracturadas luego del ensayo. Se mide el ancho y la altura según la manera de orientación del espécimen en el ensayo, se toma una medición en cada borde y una en el centro para determinar los valores promedios de ancho y altura.

El módulo de rotura que deben alcanzar las vigas elaboradas en esta investigación, se determinó en base a lo detallado en la sección 2.3.2.5. Resistencia a la tracción, donde el INECYC establece una relación de resistencias a la compresión, la tracción y el módulo de rotura (ver Tabla 2.5.). En este caso para una resistencia a compresión de 35 MPa, el módulo de rotura (MR) a cumplir es de 4,19 MPa.

4.4.4.3. Resultados de los ensayos de laboratorio de especímenes finales.

Los resultados que se obtuvieron de los ensayos a la compresión de las probetas cilíndricas, así como de los ensayos a la flexión en vigas para agregados de las dos canteras de estudio se detallan en la Tabla 8.14. a la Tabla 8.37 del ANEXO IV. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN ESPECÍMENES FINALES. En esas tablas se empleó la siguiente nomenclatura en la identificación de los especímenes:

- **CRB:** Cantera río Boquerón.
- **CRM:** Cantera río Malacatos.
- **HSF:** Hormigón sin fibra.
- **HCFP:** Hormigón con fibra de polipropileno.
- **HCFM:** Hormigón con fibra metálica.
- **C:** Cilindro.
- **V:** Viga.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis estadístico para control de calidad

Los procedimientos de dosificación, mezclado, transporte, colocación y curado del hormigón, y los componentes que se utilizan en su elaboración son factores que influyen en la calidad del hormigón a obtenerse. El hormigón es considerado como un material variable, debido a los distintos factores que intervienen en su producción, esto conlleva a que si se realizan ensayos sobre muestras de hormigón idénticas, se verificarán variaciones en las propiedades mecánicas entre las diversas muestras.

La resistencia a compresión, en toda obra de hormigón, es un parámetro importante para evaluar la calidad del hormigón que se está fabricando. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión del hormigón, se pueden llevar a una gráfica para formar un histograma o curva de frecuencia, la cual se la puede ajustar a una curva de distribución normal. Esta curva se define mediante dos parámetros estadísticos, la resistencia promedio de los resultados y la desviación estándar que es una medida de la dispersión de los resultados de la resistencia alrededor del valor medio.

El cálculo de éstos parámetros sirve para obtener antecedentes, con el fin de usarlos al momento de seleccionar una resistencia característica requerida del hormigón (f'_{cr}), la cual proporcione resultados reales de resistencia del hormigón que cumplan con la especificada (f'_c), dentro de ciertas tolerancias. Esta resistencia característica requerida (f'_{cr}) se calcula estadísticamente, con base en la resistencia promedio (f'_{cm}) y la desviación estándar (s) de los resultados. Una desviación estándar baja significa que la mayor parte de los resultados de la resistencia estarán próximos al valor medio, y una desviación estándar elevada, representa resistencias que estarán muy por arriba y por debajo de la media.

La determinación de la resistencia característica del hormigón, en esta investigación, se lo ha hecho según lo dispuesto en el reglamento publicado por ACI 318S-05 (American Concrete Institute, 2005). El método propuesto por el ACI utiliza el valor de la resistencia a la compresión especificada del hormigón, es por ello que se emplean los resultados de resistencias de las probetas ensayadas únicamente a los 28 días, ya que a esta edad el hormigón debe alcanzar su requerimiento de resistencia según su diseño. Además para evaluar la calidad del hormigón se necesitan por lo menos 30 resultados de probetas para la misma resistencia.

En el capítulo 2 sección 2.1.2.2.3. se detallaron las ecuaciones y las tablas que presenta el ACI 318S-05 para el análisis estadístico, en donde, para la resistencia especificada a la compresión de $f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$ se utilizan las ecuaciones 2.1. y 2.2.

Se ensayaron un total de 25 probetas a los 28 días, para hormigones con fibra y sin fibra, por lo que, según la norma, el número de los ensayos es menor a lo recomendado y se debe modificar la desviación estándar con un factor de corrección $\delta = 1,03$ (ver tabla 2.3.).

Los resultados de cálculo de los parámetros estadísticos de las probetas cilíndricas con y sin fibra elaboradas con agregados de las dos canteras de estudio se detallan en la Tabla 8.38. a la Tabla 8.43. del ANEXO V. CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.

Los parámetros estadísticos que se determinaron se indican en la Tabla 5.1. y Tabla 5.2. En estas tablas se puede ver el valor de la resistencia característica del hormigón, la resistencia media y la desviación estándar de los resultados obtenidos.

Tabla 5.1. Parámetros estadísticos obtenidos con probetas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón.

Hormigón	Parámetros (kgf/cm^2)		
	Resistencia característica (f'_{cr})	Resistencia media (f'_{cm})	Desviación estándar (s)
Sin fibra (HSF)	360,19	356,65	7,38
Con fibra de polipropileno (HCFP)	360,91	370,61	7,90
Con fibra metálica (HCFM)	363,10	390,97	9,49

Fuente: El Autor.

Tabla 5.2. Parámetros estadísticos obtenidos con probetas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos.

Hormigón	Parámetros (kgf/cm^2)		
	Resistencia característica (f'_{cr})	Resistencia media (f'_{cm})	Desviación estándar (s)
Sin fibra (HSF)	359,95	354,04	7,21
Con fibra de polipropileno (HCFP)	355,86	381,89	4,25
Con fibra metálica (HCFM)	360,97	401,19	7,95

Fuente: El Autor.

5.2. Comparación de resistencias en hormigones con fibra y sin fibra

Para poder realizar una comparación de las resistencias obtenidas por los especímenes entre hormigones sin fibra, hormigones con fibra de polipropileno y hormigones con fibra metálica, a las distintas edades de ensayo de las mismas, se utilizó la resistencia promedio de los resultados.

5.2.1. Especímenes elaborados con agregados de la cantera río Boquerón.

En la Tabla 5.3. se presenta el resumen del promedio de resistencias a compresión y a flexión alcanzadas por los especímenes a las distintas edades de ensayo. Además, se indica el incremento porcentual de resistencia de los hormigones elaborados con fibra metálica y de polipropileno con respecto a los hormigones elaborados sin fibra utilizando agregados de la cantera río Boquerón.

Tabla 5.3. Promedio de resistencias obtenidas en especímenes fabricados con agregados de la cantera río Boquerón.

Agregados Cantera río Boquerón									
Especímen	Edad (días)	HSF		HCFP			HCFM		
		MPa	%	MPa	%	Δ (%)	MPa	%	Δ (%)
Resistencia a la compresión (f'_c)									
Probetas cilíndricas	7	23,4	66,9	24,9	71,1	4,2	25,7	73,4	6,5
	14	28,2	80,7	29,9	85,4	4,8	31,1	88,9	8,3
	28	35,7	101,9	37,1	105,9	4,0	39,1	111,7	9,8
Resistencia a la flexión o Módulo de rotura (MR)									
Vigas	28	4,3	103,2	4,6	110,1	6,9	4,9	117,5	14,2

Fuente: El Autor.

Para una mejor interpretación de los resultados indicados en la Tabla 5.3. se elaboran las Figuras 5.1. y 5.2. que representan la comparación de resistencias a la compresión y a la flexión de los hormigones diseñados.

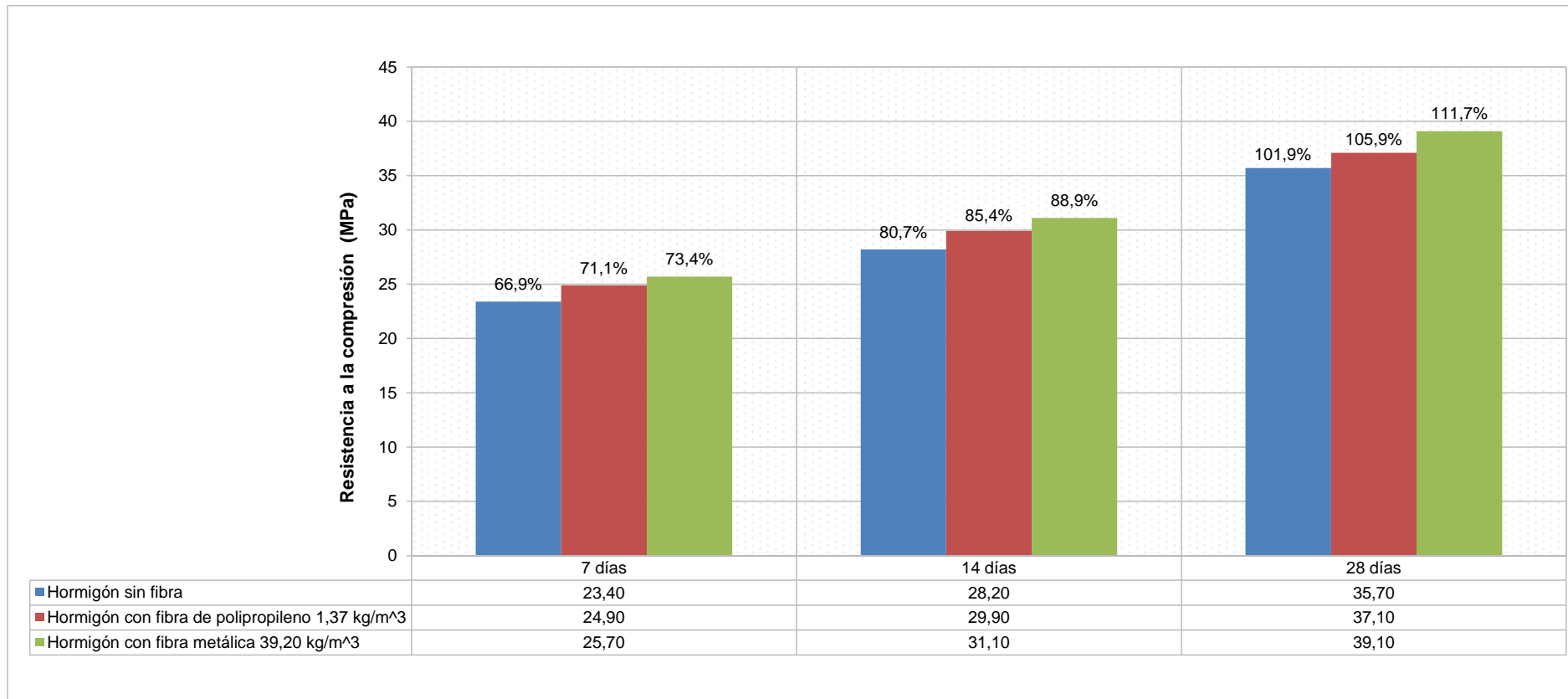


Figura 5.1. Gráfica comparativa de resistencias a la compresión obtenidas en probetas cilíndricas de hormigón con y sin fibra diseñadas para $f'_c = 35$ MPa elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón.

Fuente: El Autor

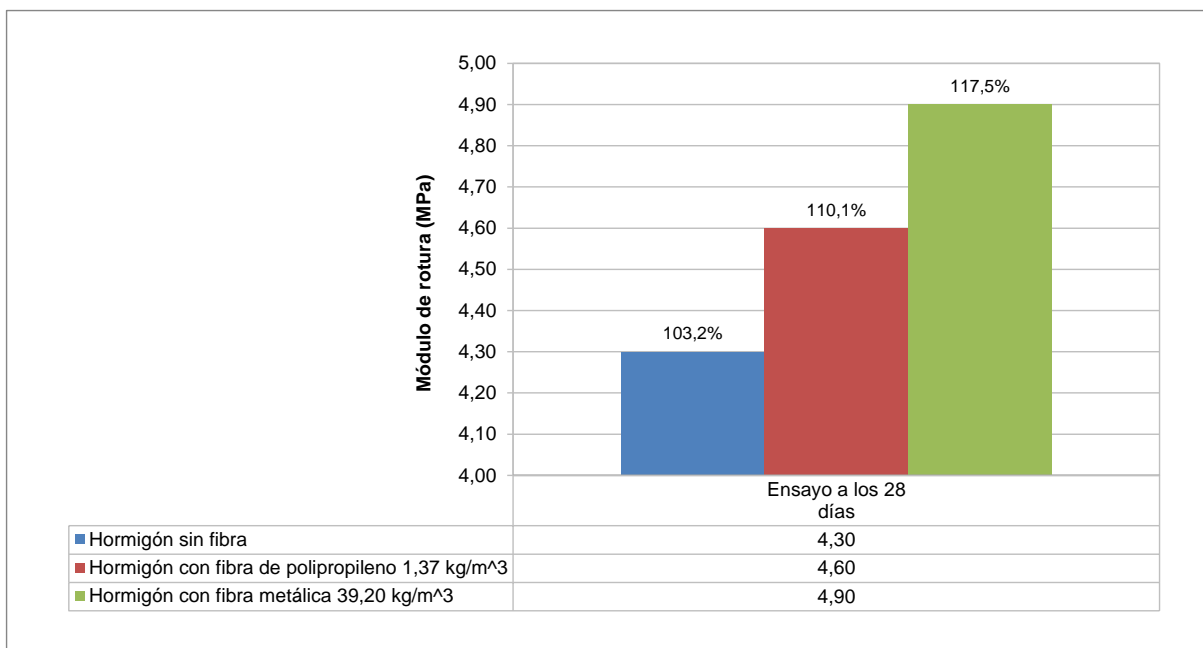


Figura 5.2. Gráfica comparativa de resistencias a la flexión (Módulo de rotura) obtenidas en vigas de hormigón con y sin fibra elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón.
Fuente: El Autor.

5.2.2. Especímenes elaborados con agregados de la cantera río Malacatos.

En la Tabla 5.4. se presenta el resumen del promedio de resistencias a compresión y a flexión alcanzadas por los especímenes a las distintas edades de ensayo. Asimismo, se indica el incremento porcentual de resistencia de los hormigones elaborados con fibra metálica y de polipropileno con respecto a los hormigones elaborados sin fibra utilizando agregados de la cantera río Malacatos.

Tabla 5.4. Promedio de resistencias obtenidas en especímenes fabricados con agregados de la cantera río Malacatos.

Agregados Cantera río Malacatos									
Especímen	Edad (días)	HSF		HCFP			HCFM		
		MPa	%	MPa	%	Δ (%)	MPa	%	Δ (%)
Resistencia a la compresión (f'_c)									
Probetas cilíndricas	7	23.4	66.9	24.5	69.9	3.0	26.0	74.3	7.4
	14	28.2	80.6	29.6	84.5	3.8	31.3	89.3	8.7
	28	35.4	101.2	38.2	109.1	8.0	40.1	114.6	13.5
Resistencia a la flexión o Módulo de rotura (MR)									
Vigas	28	4.4	105.6	4.7	111.7	6.1	5.6	133.4	27.9

Fuente: El Autor.

Para una mejor interpretación de los resultados indicados en la Tabla 5.4. se elaboran las Figuras 5.3. y 5.4. que representan la comparación de resistencias a la compresión y a la flexión de los hormigones diseñados.

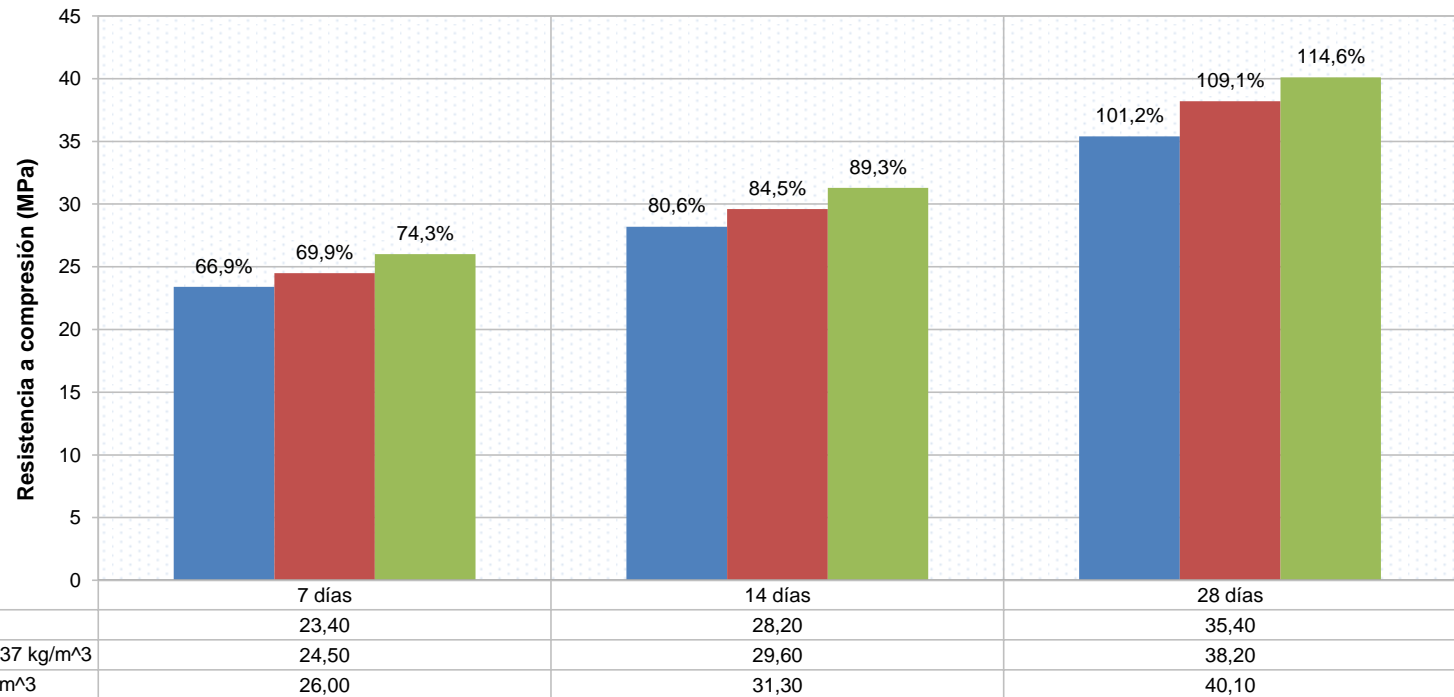


Figura 5.3. Gráfica comparativa de resistencias a la compresión obtenidas en probetas cilíndricas de hormigón con y sin fibra diseñadas para $f'_c = 35$ MPa, elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos.

Fuente: El Autor.

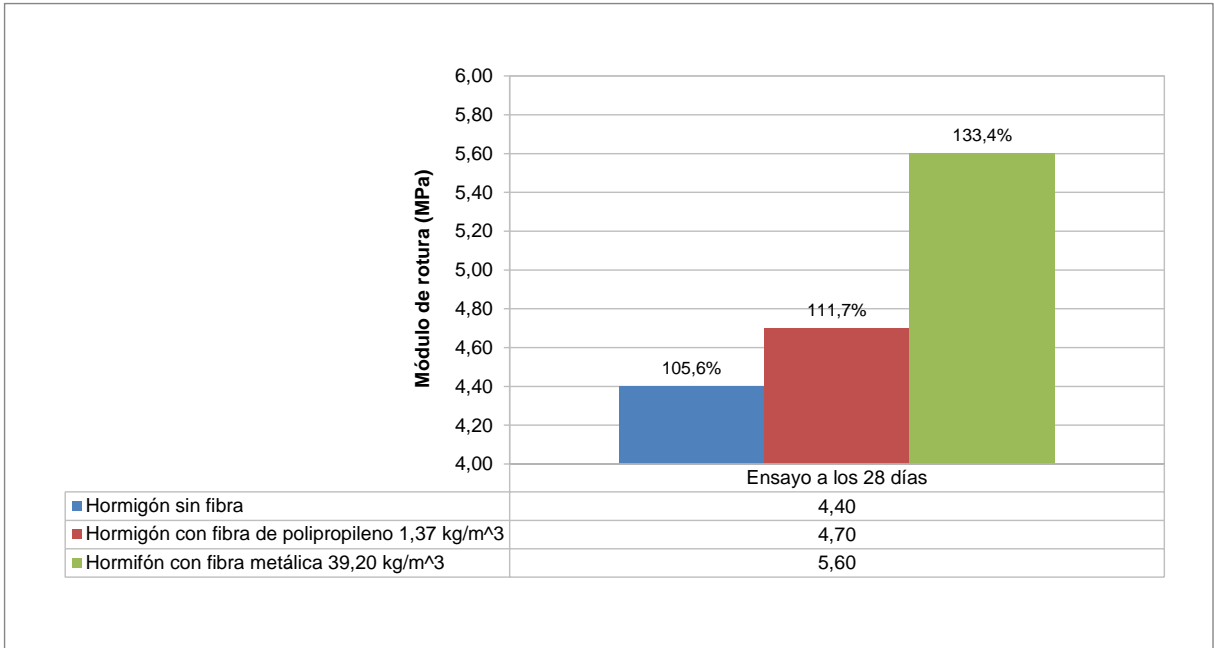


Figura 5.4. Gráfica comparativa de resistencias a la flexión (Módulo de rotura) obtenidas en vigas de hormigón con y sin fibra elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos.
Fuente: El Autor.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Los agregados provenientes de la cantera río Boquerón son del tipo canto rodado y son extraídos de forma directa. El agregado grueso presenta un tamaño máximo nominal de 1 ½" y una resistencia a la abrasión de 35,44 % menor al 50% que es valor máximo establecido por la norma NTE INEN 872 (Requisitos de áridos para hormigón). El agregado fino tiene un módulo de finura promedio de 2,81 el mismo que se encuentra dentro del rango de 2,3 a 3,1 señalado en la norma mencionada.
- Los agregados provenientes de la cantera río Malacatos son: el agregado grueso se logra después de un proceso de trituración y tiene un tamaño máximo nominal de ¾" con una resistencia a la abrasión de 32,13 %, el agregado fino es extraído directamente del río y tiene un módulo de finura promedio de 2,70, cumpliendo con lo establecido por la norma NTE INEN 872.
- Los ensayos realizados a los agregados se efectuaron siguiendo las normas Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, y los resultados conseguidos permiten concluir que estos materiales cumplen con los requisitos establecidos en la norma NTE INEN 872 - Requisitos de los áridos para hormigón, por lo tanto se pueden usar en mezclas de hormigón de cemento hidráulico.
- De los ensayos realizados para diseñar la mezcla con una resistencia en compresión de 35 MPa, se concluye que si se usa agregados de la cantera río Boquerón la relación agua/cemento debe ser de 0,32 y si se usa agregados de la cantera río Malacatos la relación agua/cemento debe ser 0,35. La diferencia en la relación agua/cemento se debe a que el agregado grueso triturado produce una adherencia superior comparado con el agregado grueso de canto rodado, ya que presenta caras fracturados o formas angulosas lo que permite una mayor trabazón y por ende proporciona mayor resistencia al hormigón.
- La adición de fibras afecta a la mezcla de hormigón con respecto a su consistencia, disminuyendo el asentamiento en un valor alrededor de 2 a 4 cm. Esto se debe a que la fibra proporciona un mayor enlace entre los componentes del hormigón brindándole a la mezcla una mayor resistencia a la segregación.

- La presentación de cada fibra ayudó a que se lograra una distribución uniforme de la misma en la mezcla, por lo que la mezcla presentó un aspecto homogéneo sin la evidencia de la existencia de bolas o erizos.
- La concentración óptima de fibra de polipropileno fue de 0,15 % para las dos canteras, lo que corresponde a una dosificación de 1,37 kg de fibra por m³ de hormigón, ya que con las otras dos dosificaciones se logran menores resistencias a la compresión.
- En cuanto a la fibra metálica, se observó que mientras mayor era su concentración, de igual manera aumentaba la resistencia del hormigón, por lo que se decidió, usando criterios financieros adoptar como concentración más adecuada la de 0,50 % lo que es equivalente a 39,20 kg de fibra por m³ de hormigón.
- El uso de las fibras metálicas y de polipropileno en la preparación de mezclas de hormigón incrementan la resistencia a la compresión y a la flexión.

Cuando se usó agregados de la cantera río Boquerón, el incremento relativo de la resistencia a la compresión y a la flexión en especímenes elaborados con fibras de polipropileno fue de 4 % y 6,9 %, respectivamente.

Cuando se usó agregados de la cantera río Boquerón, el incremento relativo de la resistencia a la compresión y a la flexión en especímenes elaborados con fibras metálicas de 9,8 % y 14,2 %, respectivamente.

Cuando se usó agregados de la cantera río Malacatos, el incremento relativo de la resistencia a la compresión y a la flexión en especímenes elaborados con fibras de polipropileno fue 8 % y 6,1 %, respectivamente.

Cuando se usó agregados de la cantera río Malacatos, el incremento relativo de la resistencia a la compresión y a la flexión en especímenes elaborados con fibras metálicas fue de 13,5 % y 27,9 %, respectivamente.

- La incorporación de fibras incide de manera más significativa en el comportamiento del hormigón frente a los esfuerzos a la flexión con respecto a los de compresión, lo que se puede evidenciar de los resultados obtenidos donde se aprecia un mayor incremento en la resistencia a la flexión.

- Una característica adicional que aporta el uso de fibras en el hormigón es el control de la fisuración, ya que como se pudo evidenciar, los especímenes elaborados con fibras tienen la capacidad de mantener su integridad aún después de ser sometidos a los ensayos, mientras que, los especímenes sin fibras se desintegran en gran parte durante los ensayos.
- Los parámetros estadísticos que se consiguieron del análisis estadístico para control de la calidad del hormigón se pueden utilizar para futuras obras de construcción en donde se presenten condiciones análogas a esta investigación.
- El mejor hormigón ($f'_c = 40,1$ MPa, MR= 5,6 MPa) se logró con la combinación de agregado triturado y la adición de fibras metálicas. Esto en correspondencia a la formación de un fuerte enlace entre la superficie de la fibra metálica y la pasta de cemento, que a la vez trabaja en concomitancia con el enlace entre la pasta de cemento y el agregado.

6.2. Recomendaciones

- Para el diseño de mezclas de hormigón se debe realizar un estudio y un análisis de las propiedades de los agregados para verificar si son aptos para su utilización, pues estos influyen de gran manera en las características y desempeño del hormigón.
- Los resultados obtenidos en esta investigación son aplicables para otros proyectos, siempre y cuando se trabaje bajo características similares de los componentes que se han utilizado para el diseño de las mezclas de hormigón ya sea con o sin fibra.
- Se recomienda cuidar las condiciones de curado de los especímenes, ya sea en cámara húmeda o bajo agua a una temperatura constante hasta su fecha de ensayo, ya que de este proceso depende la resistencia que se consiga en los mismos.
- Se recomienda realizar una investigación similar usando fibras naturales como refuerzo en el hormigón, con el fin de analizar su influencia en las propiedades mecánicas del mismo y comparar los costos con otros tipos de fibras: metálicas o de polipropileno.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute. (2002). *Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI 544.1R-96*. Detroit: ACI Committee 544.
- American Concrete Institute. (2005). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. Farmington Hills: ACI 318.
- ASTM C1116. (2012). *Standard Specification for Fiber - Reinforced Concrete*.
- Bañón, L. (2010). *Propiedades del Hormigón*. Alicante-España: Universidad de Alicante.
- Barros, V. P., & Ramírez, H. C. (2012). *Diseño de Hormigones con Fibras de Polipropileno para Resistencias a la Compresión de 21 y 28 Mpa con agregados de la Cantera de Pifo. Tesis de Grado*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Blanco, F. (2010). *Materiales de Construcción*. Oviedo- España: Universidad de Oviedo.
- Hernández, E., & Gil, L. M. (2007). *HORMIGÓN ARMADO Y PRETENSADO*. Granada - España: Gráficas Alhambra.
- INECYC. (2009). *Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto. Control de Calidad en el Hormigón. Control por Resistencia Parte I*. Quito-Ecuador: Imprenta NOCIÓN.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (Febrero de 2007). *Concreto reforzado con fibras*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/ct2007/feb07/problemas.htm>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Portland Cement Association*. Mexico: Grupo Apasco.
- Lorenzo, S. (s.f.). *Tecnología del Hormigón*. Obtenido de <http://www.lorenzoservidor.com.ar/facu01/modulo6/modulo6.htm>
- Love, T. (2006). *El concreto en la construcción*. Mexico: Trillas.
- Mármol, P. (2010). *Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Trabajo Fin de Máster*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.*
- NTE INEN 1576. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.*
- NTE INEN 2554. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón. (Utilizando una viga simple con carga en los tercios).*
- NTE INEN 696. (2011). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.*
- NTE INEN 697. (2010). *Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μ m (No. 200), mediante lavado.*
- NTE INEN 856. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.*
- NTE INEN 857. (2010). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.*
- NTE INEN 858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.*
- NTE INEN 860. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles.*
- NTE INEN 862. (2011). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.*
- NTE INEN 872. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos.*
- Rivera, G. (2009). *Concreto Simple.* Cauca-Colombia: Universidad del Cauca.
- Romo, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado.* Quito-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Villarino, A. (2011). *Ciencia y Tecnología de los Materiales.* Ávila - España: Escuela Politécnica Superior de Ávila.

8. ANEXOS

ANEXO I. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN AGREGADOS

- RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN
- RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS

RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

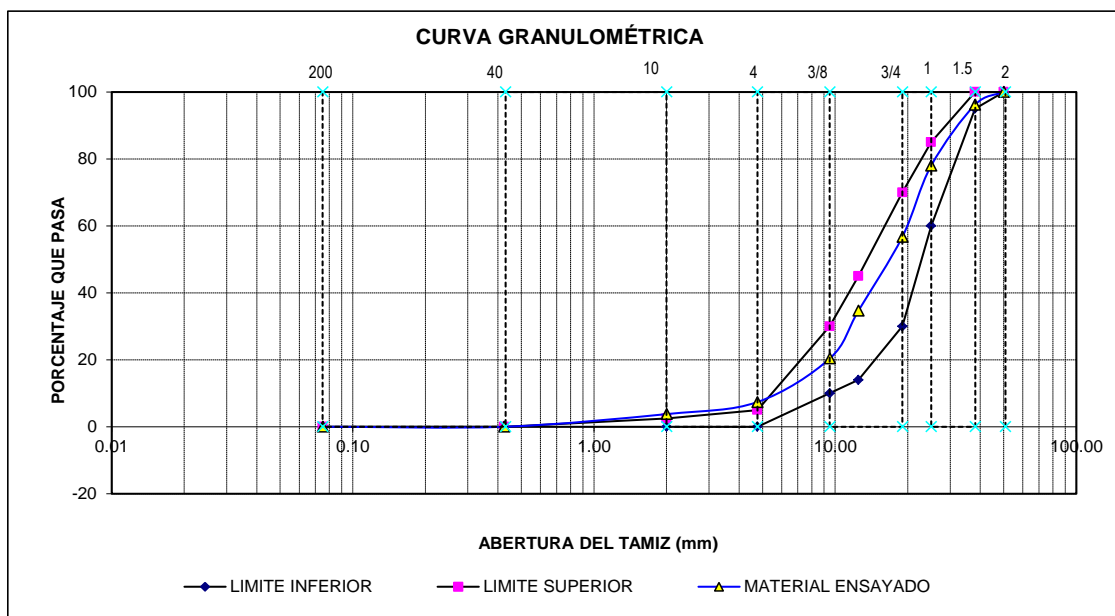
NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013
No. ENSAYO: 1 de 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO GRUESO

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
75	3"	0,00	0,00	0,00	100,00	
63	2 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
50	2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
37,5	1 1/2"	788,50	788,50	3,84	96,16	95 - 100
25	1"	3739,00	4527,50	22,05	77,95	
19	3/4"	4358,00	8885,50	43,27	56,73	35 - 70
12,5	1/2"	4525,60	13411,10	65,31	34,69	
9,5	3/8"	2936,40	16347,50	79,61	20,39	10 - 30
4,750	Nº.4	2671,50	19019,00	92,62	7,38	0 - 5
2,360	Nº.8	738,60	19757,60	96,22	3,78	
	FONDO	776,40	20534,00	100,00	0,00	

Peso total de la muestra: 20534,00 Tamaño Máximo Nominal (mm)= 1 1/2"



OBSERVACIONES:

El tamaño nominal del agregado se encuentra de 37,5 a 4,75 mm, por lo tal los valores del límite superior e inferior de la faja granulométrica, corresponde a un número de tamaño 467 según la norma NTE INEN 872 - Áridos para hormigón. Requisitos.

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
 FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

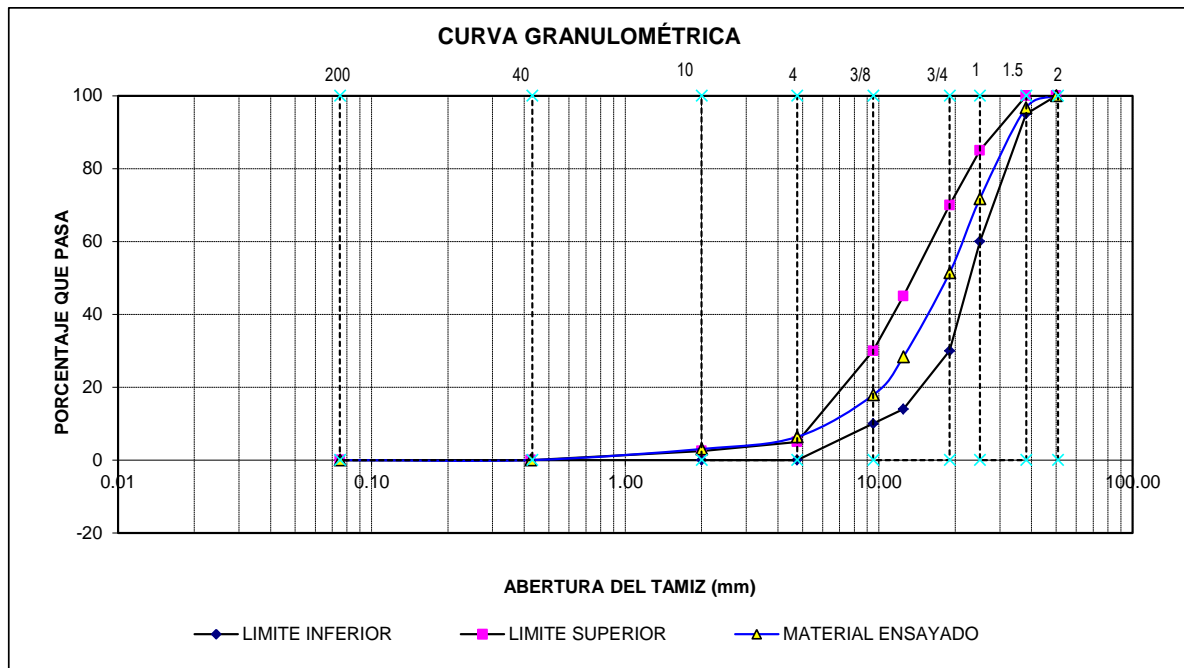
NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013
No. ENSAYO: 2 de 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO GRUESO

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
75	3"	0,00	0,00	0,00	100,00	
63	2 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
50	2"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
37,5	1 1/2"	682	682,00	3,33	96,67	95 - 100
25	1"	5110,3	5792,30	28,32	71,68	
19	3/4"	4148,2	9940,50	48,60	51,40	35 - 70
12,5	1/2"	4715,5	14656,00	71,65	28,35	
9,5	3/8"	2140,8	16796,80	82,12	17,89	10 - 30
4,750	Nº.4	2355,8	19152,60	93,63	6,37	0 - 5
2,360	Nº.8	681,5	19834,10	96,96	3,04	
	FONDO	621,1	20455,20	100,00	0,00	

Peso total de la muestra: 20455,20 Tamaño Máximo Nominal (mm)= 1 1/2"



OBSERVACIONES:

El tamaño nominal del agregado se encuentra de 37,5 a 4,75 mm, por lo tal los valores del límite superior e inferior de la faja granulométrica, corresponde a un número de tamaño 467 según la norma NTE INEN 872 - Áridos para hormigón. Requisitos.

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
 FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

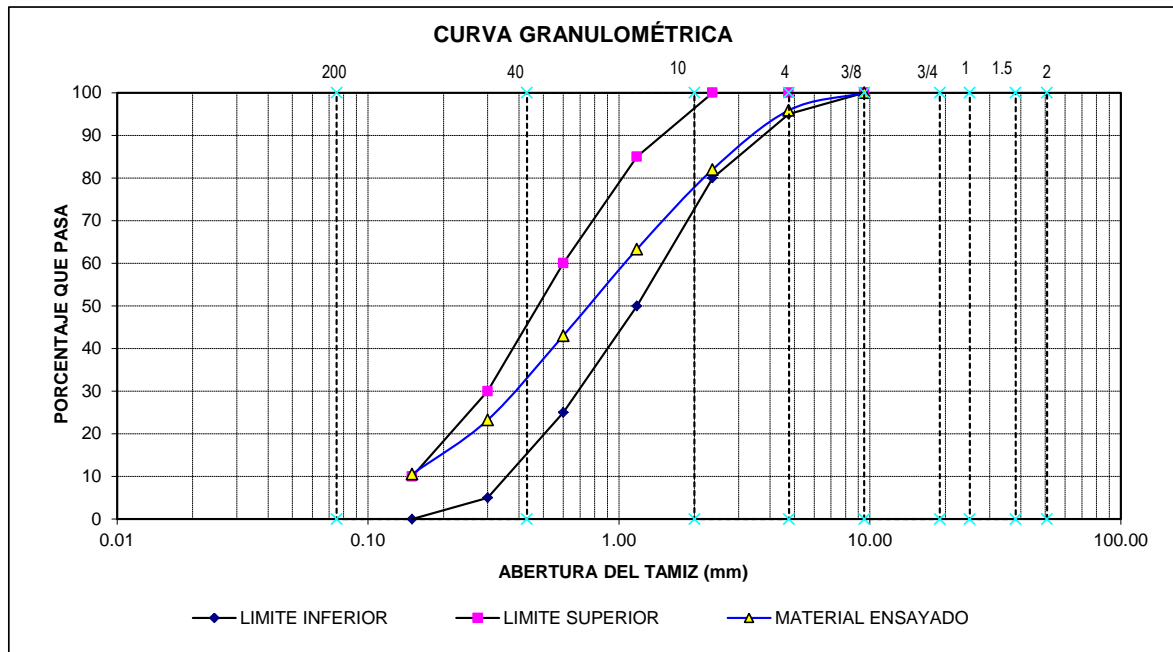
NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido fino
FECHA: 25-nov-2013
No. ENSAYO: 1 de 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO FINO

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
9,5	3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
4,750	Nº.4	21,20	21,20	4,13	95,87	95 - 100
2,360	Nº.8	71,46	92,66	18,03	81,97	80 - 100
1,180	Nº.16	95,80	188,46	36,68	63,32	50 - 85
0,600	Nº.30	104,32	292,78	56,98	43,02	25 - 60
0,300	Nº.50	101,44	394,22	76,72	23,28	5 - 30
0,150	Nº.100	65,40	459,62	89,45	10,55	0 - 10
	FONDO	54,20	513,82	100,00		

Peso total de la muestra:	513,82	Módulo de Finura: MF =	2,82
Requisitos de gradación de la arena para Hormigón: Módulo de Finura: 2.3 a 3.1			



Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
 FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

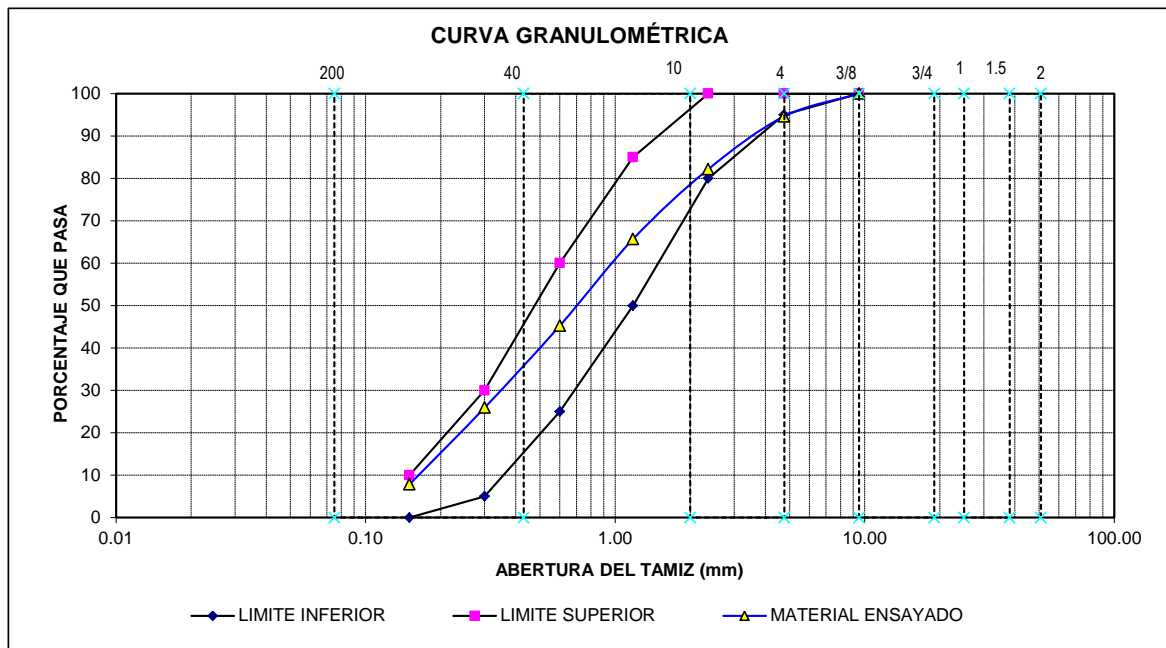
NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido fino
FECHA: 25-nov-2013
No. ENSAYO: 2 de 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO FINO

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
9,5	3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
4,750	Nº.4	28,74	28,74	5,40	94,60	95 - 100
2,360	Nº.8	66,20	94,94	17,85	82,15	80 - 100
1,180	Nº.16	87,50	182,44	34,31	65,69	50 - 85
0,600	Nº.30	108,75	291,19	54,76	45,24	25 - 60
0,300	Nº.50	102,65	393,84	74,07	25,93	5 - 30
0,150	Nº.100	96,20	490,04	92,16	7,84	0 - 10
	FONDO	41,70	531,74	100,00		

Peso total de la muestra:	531,74	Módulo de Finura: MF =	2,79
Requisitos de gradación de la arena para Hormigón: Módulo de Finura: 2.3 a 3.1			



Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 697 (ASTM C117)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido fino
FECHA: 25-nov-2013

**DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ
CON ABERTURAS DE 75 um (N° 200) MEDIANTE LAVADO**

Ensayo número		1	2
Masa de la muestra de ensayo en g:	B	2502,20	2502,20
Masa de la muestra lavada y seca en g:	C	2433,80	2429,70
Porcentaje de material fino < 75 micras	A	2,73	2,90

Porcentaje de Material Fino < 75 micras:	$A = \frac{B - C}{B} \times 100$	Material Fino < 75 micras Valor Promedio 2,82 %
------------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------------------------------------

REQUISITOS

Requisito de materiales más finos que 75 micrones en el árido fino, máximo porcentaje:

Hormigón sujeto a abrasión: 3,0 %
Todos los demás hormigones: 5,0 %

OBSERVACIONES:

La arena presenta un porcentaje de material fino por debajo del valor límite estipulado en la norma NTE INEN 872, en donde se especifica los requisitos que deben cumplir los áridos para ser utilizados en hormigón.

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 857 (ASTM C127)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)
Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO**

NUMERO DE ENSAYO		1	2
Peso de la muestra secada en el horno (g)	A	7957,12	7962,04
Peso de la muestra en condición sss (g)	B	8060,18	8072,00
Peso en el agua de la muestra en condición sss (g)	C	4972,24	5002,08
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	$A/(B-C)$	2,577	2,594
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	$B/(B-C)$	2,610	2,629
Densidad relativa aparente (DRA)	$A/(A-C)$	2,666	2,690
Porcentaje de absorción	$((B-A)/A) \times 100$	1,30	1,38

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2,585
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS) = 2,620
Densidad relativa aparente (DRA) = 2,678
Densidad (SH)= 2578,74 kg/m³
Densidad (SSS)= 2613,25 kg/m³
Densidad aparente= 2671,17 kg/m³
Porcentaje de absorción (%)= 1,34 %

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 856 (ASTM C128)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido fino
FECHA: 25-nov-2013

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)
Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO**

NUMERO DE ENSAYO		1	2
Peso de la muestra secada en el horno (g)	A	491,50	490,00
Peso del picnómetro lleno con agua (g)	B	672,70	672,70
Peso del picnómetro + muestra + agua (g)	C	979,50	978,40
Peso de la muestra en condición sss (g)	S	500,00	500,00
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	$A/(B+S-C)$	2,544	2,522
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	$S/(B+S-C)$	2,588	2,573
Densidad relativa aparente (DRA)	$A/(B+A-C)$	2,661	2,659
Porcentaje de absorción	$((S-A)/A) \times 100$	1,73	2,04

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2,533

Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS) = 2,581

Densidad relativa aparente (DRA) = 2,660

Densidad (SH)= 2526,60 kg/m³

Densidad (SSS)= 2574,21 kg/m³

Densidad aparente= 2653,24 kg/m³

Porcentaje de absorción (%)= 1,89 %

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 858 (ASTM C29)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013

DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO GRUESO

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO

Ensayo número		1	2	3
Volumen del recipiente: (m ³)	V	0,006	0,006	0,006
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	18,832	18,834	18,830
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	9,506	9,508	9,504
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1576,60	1576,93	1576,27

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1576,60 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3
Volumen del recipiente: (m ³)	V	0,006	0,006	0,006
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	19,328	19,332	19,324
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	10,002	10,006	9,998
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1658,86	1659,52	1658,20

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1658,86 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 858 (ASTM C29)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido fino
FECHA: 25-nov-2013

DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO FINO

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO

Ensayo número		1	2	3
Volumen del recipiente: (m ³)	V	0,006	0,006	0,006
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	20,030	20,022	20,026
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	10,704	10,696	10,700
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1775,29	1773,96	1774,63

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1774,63 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3
Volumen del recipiente: (m ³)	V	0,006	0,006	0,006
Peso del recipiente:(kg)	T	9,326	9,326	9,326
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	20,830	20,831	20,840
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	11,504	11,505	11,514
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1907,97	1908,14	1909,63

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1908,58 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACION**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 860 (ASTM C131)
PROVIENE: Río Boquerón - Catamayo
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTICULAS
 MENORES A 37.5 MM EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

GRADACIÓN DE LA MUESTRA

Tamices (mm)		Masa de la muestra de ensayo (g)			
		G r a d a c i ó n			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5	25	1262,00			
25	19	1261,00			
19	12,5	1255,00			
12,5	9,5	1256,00			
9,5	6,7				
6,7	4,75				
4,75	2,36				
Total		5034,00			

Ensayo número	1	2
Número de esferas:	12	
Masa inicial de la muestra de ensayo (g) B:	5034,00	5034,00
Masa retenida en tamiz 1.70mm después de 500 revoluciones (g) C:	3272,50	3227,30
Valor de abrasión después de 500 revoluciones (%) D:	34,99	35,89

Valor de Abrasión (%)

$$D(\%) = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Valor de Abrasión= **35,44** %

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
 FIN DE TITULACION**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

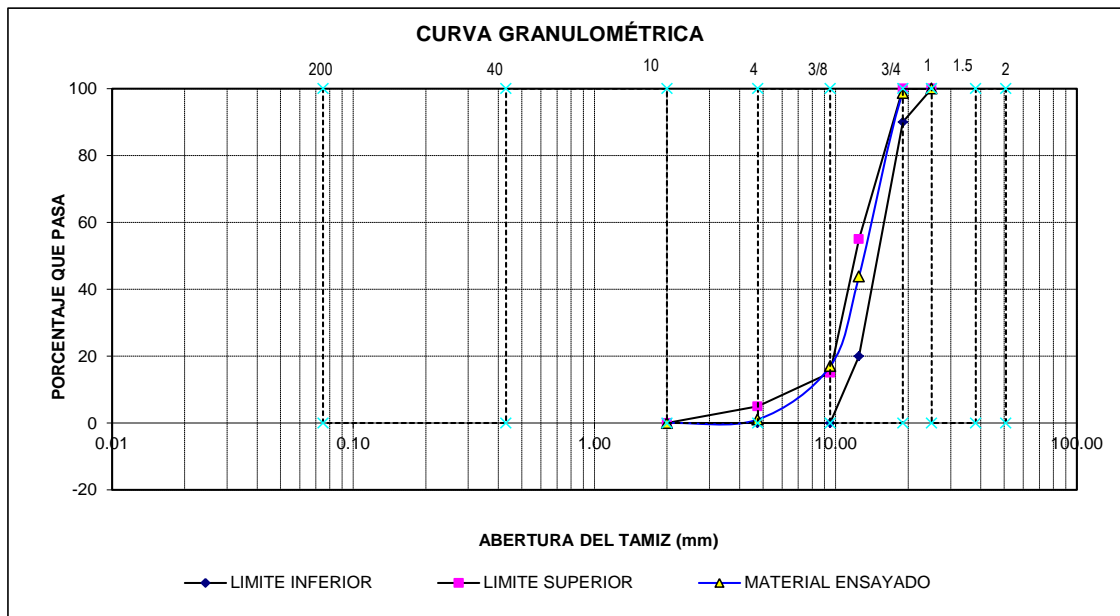
NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013
No. ENSAYO: 1 de 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO GRUESO

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
75	3"	0,00	0,00	0,00	100,00	
63	2 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
50	2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
37,5	1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
25	1"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
19	3/4"	69,20	69,20	1,32	98,68	90 - 100
12,5	1/2"	2884,30	2953,50	56,18	43,82	20 - 55
9,5	3/8"	1409,40	4362,90	82,99	17,01	0 - 15
4,750	Nº.4	838,70	5201,60	98,94	1,06	0 - 5
	FONDO	55,70	5257,30	100,00	0,00	

Peso total de la muestra: 5257,30 Tamaño Máximo Nominal (mm)= 3/4"



OBSERVACIONES:

El tamaño nominal del agregado se encuentra de 19,0 a 4,75 mm, por lo tal los valores del límite superior e inferior de la faja granulométrica, corresponde a un número de tamaño 67 según la norma NTE INEN 872 - Áridos para hormigón. Requisitos.

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

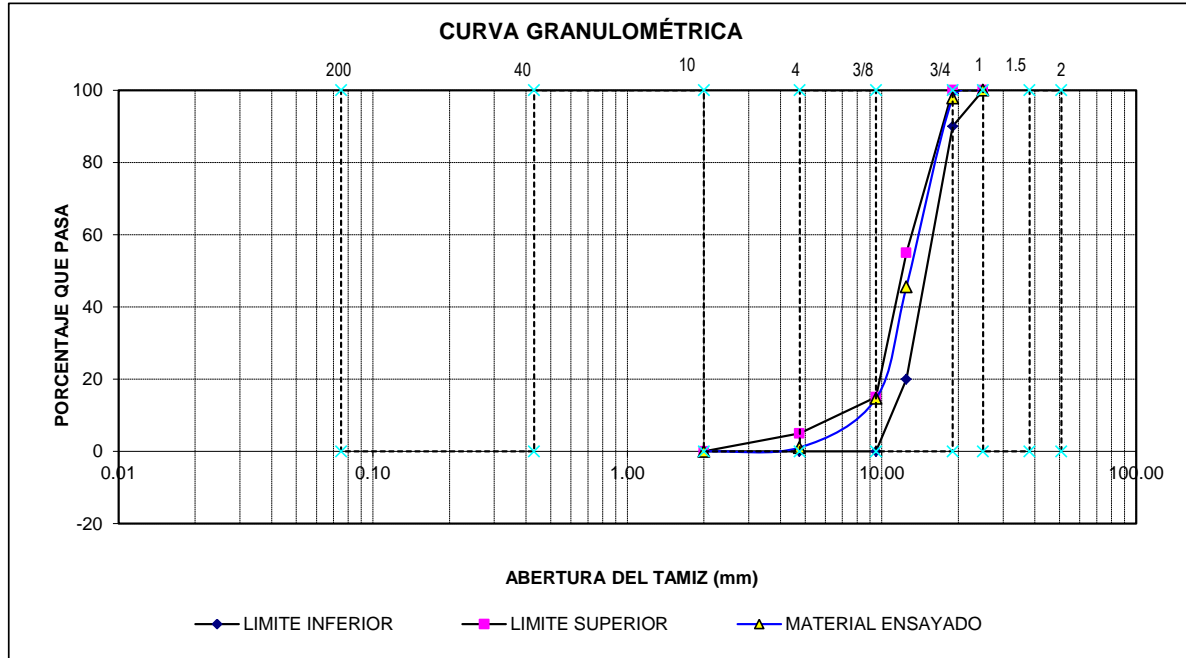
NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013
No. ENSAYO: 2 de 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO GRUESO

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
75	3"	0,00	0,00	0,00	100,00	
63	2 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
50	2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
37,5	1 1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
25	1"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
19	3/4"	115,47	115,47	2,18	97,82	90 - 100
12,5	1/2"	2765,50	2880,97	54,46	45,54	20 - 55
9,5	3/8"	1631,20	4512,17	85,29	14,71	0 - 15
4,750	Nº.4	721,30	5233,47	98,92	1,08	0 - 5
	FONDO	57,00	5290,47	100,00	0,00	

Peso total de la muestra: 5290,47 Tamaño Máximo Nominal (mm)= 3/4"



OBSERVACIONES:

El tamaño nominal del agregado se encuentra de 19,0 a 4,75 mm, por lo tal los valores del límite superior e inferior de la faja granulométrica, corresponde a un número de tamaño 67 según la norma NTE INEN 872 - Áridos para hormigón. Requisitos.

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

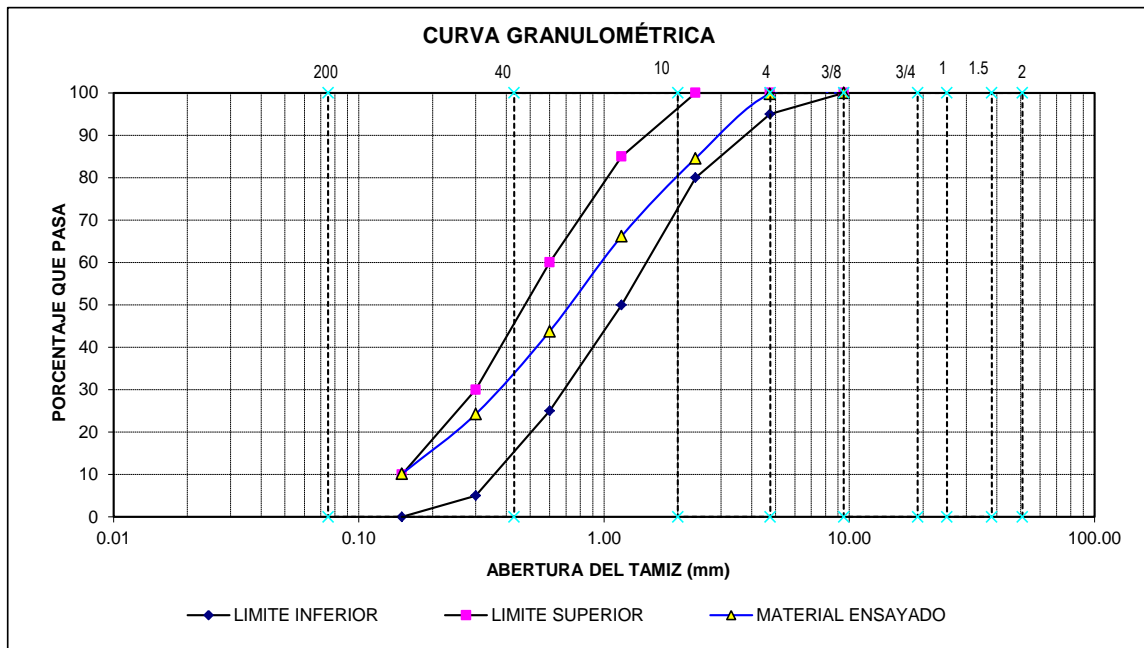
NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido fino
FECHA: 25-nov-2013
No. ENSAYO: 1 de 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO FINO

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
9,5	3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
4,750	Nº.4	1,12	1,12	0,22	99,78	95 - 100
2,360	Nº.8	78,40	79,52	15,45	84,55	80 - 100
1,180	Nº.16	94,35	173,87	33,79	66,21	50 - 85
0,600	Nº.30	115,50	289,37	56,23	43,77	25 - 60
0,300	Nº.50	100,34	389,71	75,73	24,27	5 - 30
0,150	Nº.100	72,52	462,23	89,83	10,17	0 - 10
	FONDO	52,35	514,58	100,00		

Peso total de la muestra:	514,58	Módulo de Finura: MF =	2,71
Requisitos de gradación de la arena para Hormigón: Módulo de Finura: 2.3 a 3.1			



Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
 FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

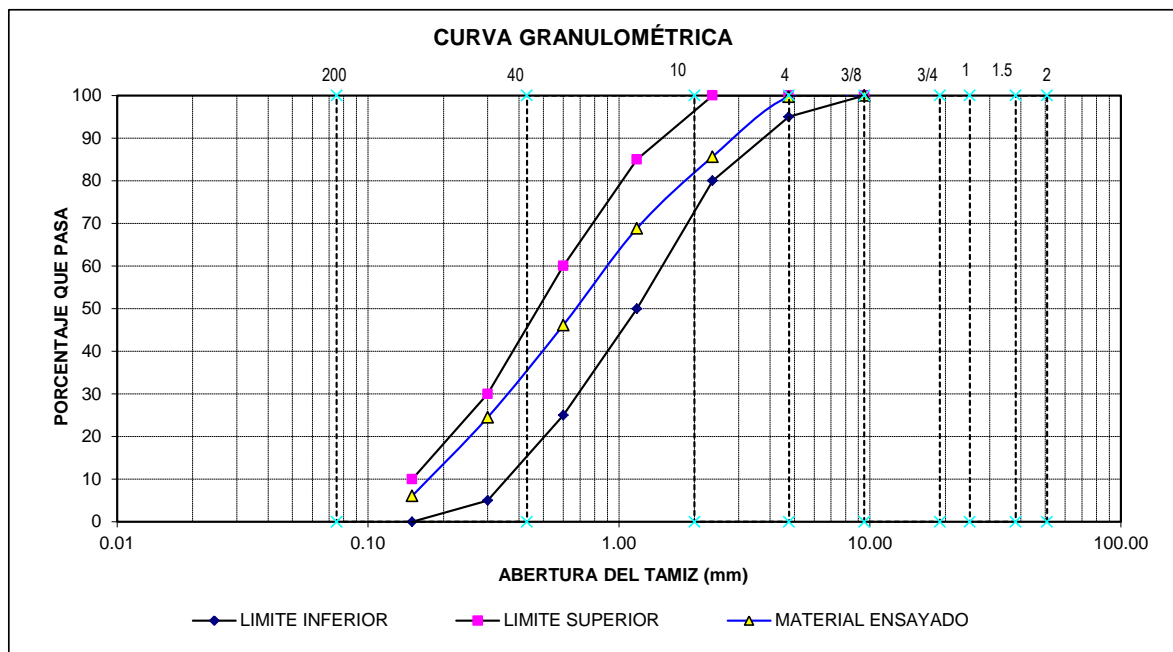
NORMA: NTE INEN 696 (ASTM C136)
PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido fino
FECHA: 25-nov-2013
No. ENSAYO: 2 de 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL ÁRIDO FINO

MM.	TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO ACUMULADO (g)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	FAJA DE TRABAJO
9,5	3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	100
4,750	Nº.4	1,54	1,54	0,30	99,70	95 - 100
2,360	Nº.8	73,40	74,94	14,36	85,64	80 - 100
1,180	Nº.16	87,66	162,60	31,16	68,84	50 - 85
0,600	Nº.30	118,40	281,00	53,85	46,15	25 - 60
0,300	Nº.50	112,82	393,82	75,47	24,53	5 - 30
0,150	Nº.100	96,20	490,02	93,91	6,09	0 - 10
	FONDO	31,80	521,82	100,00		

Peso total de la muestra:	521,82	Módulo de Finura: MF =	2,69
Requisitos de gradación de la arena para Hormigón: Módulo de Finura: 2.3 a 3.1			



Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
 DIRECTOR DE PROYECTO DE
 FIN DE TITULACIÓN

Juan Carlos Caraguay O.
 PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 697 (ASTM C117)

MATERIAL: Árido fino

PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos

FECHA: 25-nov-2013

REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

**DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE PASA EL TAMIZ
CON ABERTURAS DE 75 um (N° 200) MEDIANTE LAVADO**

Ensayo número		1	2
Masa de la muestra de ensayo en g:	B	965,00	965,00
Masa de la muestra lavada y seca en g:	C	940,70	942,85
Porcentaje de material fino < 75 micras	A	2,52	2,30

Porcentaje de Material Fino < 75 micras:	$A = \frac{B - C}{B} \times 100$	Material Fino < 75 micras Valor Promedio 2,41 %
------------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------------------------------------

REQUISITOS

Requisito de materiales más finos que 75 micrones en el árido fino, máximo porcentaje:

Hormigón sujeto a abrasión: 3,0 %
Todos los demás hormigones: 5,0 %

OBSERVACIONES:

La arena presenta un porcentaje de material fino por debajo del valor límite estipulado en la norma NTE INEN 872, en donde se especifica los requisitos que deben cumplir los áridos para ser utilizados en hormigón.

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 857 (ASTM C127)
PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)
Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO**

NUMERO DE ENSAYO		1	2
Peso de la muestra secada en el horno (g)	A	3802,50	3798,30
Peso de la muestra en condición sss (g)	B	3874,20	3871,60
Peso en el agua de la muestra en condición sss (g)	C	2398,00	2394,20
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	$A/(B-C)$	2,576	2,571
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	$B/(B-C)$	2,624	2,621
Densidad relativa aparente (DRA)	$A/(A-C)$	2,707	2,705
Porcentaje de absorción	$((B-A)/A) \times 100$	1,89	1,93

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2,573
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS) = 2,622
Densidad relativa aparente (DRA) = 2,706
Densidad (SH)= 2566,97 kg/m³
Densidad (SSS)= 2615,94 kg/m³
Densidad aparente= 2699,49 kg/m³
Porcentaje de absorción (%)= 1,91 %

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 856 (ASTM C128)
PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido fino
FECHA: 25-nov-2013

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)
Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO**

NUMERO DE ENSAYO		1	2
Peso de la muestra secada en el horno (g)	A	487,34	488,60
Peso del picnómetro lleno con agua (g)	B	1299,20	1299,20
Peso del picnómetro + muestra + agua (g)	C	1602,90	1603,20
Peso de la muestra en condición sss (g)	S	500,00	500,00
Densidad relativa seca al horno (DRSH)	$A/(B+S-C)$	2,483	2,493
Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS)	$S/(B+S-C)$	2,547	2,551
Densidad relativa aparente (DRA)	$A/(B+A-C)$	2,654	2,647
Porcentaje de absorción	$((S-A)/A) \times 100$	2,60	2,33

Densidad relativa seca al horno (DRSH)= 2,488

Densidad relativa saturada superficialmente seca (DRSSS) = 2,549

Densidad relativa aparente (DRA) = 2,650

Densidad (SH)= 2481,52 kg/m³

Densidad (SSS)= 2542,70 kg/m³

Densidad aparente= 2643,67 kg/m³

Porcentaje de absorción (%)= 2,47 %

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 858 (ASTM C29)
PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013

DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO GRUESO

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO

Ensayo número		1	2	3
Volumen del recipiente: (m ³)	V	0,014	0,014	0,014
Peso del recipiente:(kg)	T	9,640	9,640	9,640
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	29,820	30,150	29,940
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	20,180	20,380	20,260
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1441,43	1455,71	1447,14

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1448,10 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3
Volumen del recipiente: (m ³)	V	0,014	0,014	0,014
Peso del recipiente:(kg)	T	9,640	9,640	9,640
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	31,110	31,150	31,210
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	21,470	21,550	21,570
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1533,57	1539,29	1540,71

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1537,86 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 858 (ASTM C29)
PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido fino
FECHA: 25-nov-2013

DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) EN EL ÁRIDO FINO

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO SUELTO

Ensayo número		1	2	3
Volumen del recipiente: (m ³)	V	0,014	0,014	0,014
Peso del recipiente:(kg)	T	9,640	9,640	9,640
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	32,400	32,760	33,120
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	22,760	23,120	23,480
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1625,71	1651,43	1677,14

Densidad Aparente estado suelto:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente sin varillar 1651,43 kg/m³
----------------------------------	-------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

MASA UNITARIA O DENSIDAD APARENTE EN ESTADO COMPACTADO

Ensayo número		1	2	3
Volumen del recipiente: (m ³)	V	0,014	0,014	0,014
Peso del recipiente:(kg)	T	9,640	9,640	9,640
Peso del recipiente más muestra (kg)	G	34,700	35,160	34,870
Peso de la muestra de ensayo (kg)	G - T	25,060	25,520	25,230
Densidad aparente: (kg/m ³)	M	1790,00	1822,86	1802,14

Densidad Aparente estado compactado:	$M = \frac{(G - T)}{V}$	Valor Promedio Masa Unitaria o Densidad Aparente por varillado 1805,00 kg/m³
--------------------------------------	-------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
FIN DE TITULACIÓN**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES

NORMA: NTE INEN 860 (ASTM C131)
PROVIENE: Río Malacatos - Malacatos
REALIZADO POR : Juan Carlos Caraguay O.

MATERIAL: Árido grueso
FECHA: 25-nov-2013

**DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTICULAS
 MENORES A 37.5 MM EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

GRADACIÓN DE LA MUESTRA

Tamices (mm)		Masa de la muestra de ensayo (g)			
		G r a d a c i ó n			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5	25				
25	19				
19	12,5		2512,20		
12,5	9,5		2514,10		
9,5	6,7				
6,7	4,75				
4,75	2,36				
T o t a l			5026,30		

Ensayo número	1	2
Número de esferas:	12	
Masa inicial de la muestra de ensayo (g) B:	5026,30	5026,30
Masa retenida en tamiz 1.70mm después de 500 revoluciones (g) C:	3424,20	3398,60
Valor de abrasión después de 500 revoluciones (%) D:	31,87	32,38

Valor de Abrasión (%)

$$D(\%) = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Valor de Abrasión= **32,13** %

Ing. Alonso R. Zúñiga Suárez
**DIRECTOR DE PROYECTO DE
 FIN DE TITULACION**

Juan Carlos Caraguay O.
PROFESIONAL EN FORMACIÓN

ANEXO II. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN PROBETAS DE PRUEBA SIN FIBRA

- RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN
- RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS

RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN

Tabla 8.1. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con una relación $a/c = 0,38$ para agregados de la cantera río Boquerón.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HSF a/c= 0,38	23-abr-14	30-abr-14	7	152,4	18195	301	382,4	21,0	60,0
					152,1					
					152,1					
2	HSF a/c= 0,38	23-abr-14	30-abr-14	7	148,5	17559	302	349,5	19,9	56,9
					149,4					
					150,6					
3	HSF a/c= 0,38	23-abr-14	30-abr-14	7	153,5	18702	302	400,1	21,4	61,1
					154,3					
					155,1					
Promedio:									20,8	59,3
4	HSF a/c= 0,38	23-abr-14	7-may-14	14	152,8	18439	298	452,2	24,5	70,1
					152,5					
					154,4					
5	HSF a/c= 0,38	23-abr-14	7-may-14	14	148,6	17309	299	432,6	25,0	71,4
					148,5					
					148,3					
6	HSF a/c= 0,38	23-abr-14	7-may-14	14	151,6	17995	302	426,8	23,7	67,8
					151,2					
					151,3					
Promedio:									24,4	69,7
7	HSF a/c= 0,38	23-abr-14	21-may-14	28	147,5	17010	295	496,0	29,2	83,3
					148,1					
					145,9					
8	HSF a/c= 0,38	23-abr-14	21-may-14	28	152,6	18201	305	510,0	28,0	80,1
					152,1					
					152,0					
9	HSF a/c= 0,38	23-abr-14	21-may-14	28	152,1	18209	305	506,2	27,8	79,4
					152,3					
					152,4					
Promedio:									28,3	80,9

Fuente: El Autor.

Tabla 8.2. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con una relación $a/c = 0,35$ para agregados de la cantera río Boquerón.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HSF $a/c = 0,35$	24-abr-14	1-may-14	7	148,6	17353	300	402,6	23,2	66,3
					148,7					
					148,6					
2	HSF $a/c = 0,35$	24-abr-14	1-may-14	7	150,9	17575	298	401,0	22,8	65,2
					149,3					
					148,6					
3	HSF $a/c = 0,35$	24-abr-14	1-may-14	7	150,9	17929	302	406,2	22,7	64,7
					151,3					
					151,2					
Promedio:									22,9	65,4
4	HSF $a/c = 0,35$	24-abr-14	8-may-14	14	152,2	18233	303	502,4	27,6	78,7
					152,3					
					152,6					
5	HSF $a/c = 0,35$	24-abr-14	8-may-14	14	146,6	17106	293	492,2	28,8	82,2
					148,3					
					147,8					
6	HSF $a/c = 0,35$	24-abr-14	8-may-14	14	154,9	18713	305	508,4	27,2	77,6
					154,6					
					153,5					
Promedio:									27,8	79,5
7	HSF $a/c = 0,35$	24-abr-14	22-may-14	28	152,5	18252	305	592,8	32,5	92,8
					152,5					
					152,3					
8	HSF $a/c = 0,35$	24-abr-14	22-may-14	28	152,4	18207	304	571,6	31,4	89,7
					152,2					
					152,1					
9	HSF $a/c = 0,35$	24-abr-14	22-may-14	28	153,5	18571	299	576,0	31,0	88,6
					153,7					
					154,1					
Promedio:									31,6	90,4

Fuente: El Autor.

Tabla 8.3. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con una relación $a/c = 0,32$ para agregados de la cantera río Boquerón.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HSF $a/c = 0,32$	29-abr-14	6-may-14	7	152,3	18187	304	425,0	23,4	66,8
					152,1					
					152,1					
2	HSF $a/c = 0,32$	29-abr-14	6-may-14	7	152,9	18494	299	436,6	23,6	67,5
					153,7					
					153,7					
3	HSF $a/c = 0,32$	29-abr-14	6-may-14	7	151,9	18177	303	428,8	23,6	67,4
					152,1					
					152,3					
Promedio:									23,5	67,2
4	HSF $a/c = 0,32$	29-abr-14	13-may-14	14	151,2	17605	298	512,0	29,1	83,1
					149,2					
					148,7					
5	HSF $a/c = 0,32$	29-abr-14	13-may-14	14	148,3	17282	300	498,8	28,9	82,5
					148,4					
					148,3					
6	HSF $a/c = 0,32$	29-abr-14	13-may-14	14	155,0	18727	305	507,2	27,1	77,4
					154,5					
					153,7					
Promedio:									28,3	81,0
7	HSF $a/c = 0,32$	29-abr-14	27-may-14	28	151,0	17870	301	632,6	35,4	101,1
					150,7					
					150,8					
8	HSF $a/c = 0,32$	29-abr-14	27-may-14	28	145,3	16924	295	628,7	37,1	106,1
					147,3					
					147,8					
9	HSF $a/c = 0,32$	29-abr-14	27-may-14	28	152,2	18205	304	638,2	35,1	100,2
					152,1					
					152,3					
Promedio:									35,9	102,5

Fuente: El Autor.

Tabla 8.4. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con una relación $a/c = 0,30$ para agregados de la cantera río Boquerón.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HSF $a/c = 0,30$	5-may-14	12-may-14	7	151,1	17973	295	460,4	25,6	73,2
					151,6					
					151,1					
2	HSF $a/c = 0,30$	5-may-14	12-may-14	7	150,7	17870	302	455,6	25,5	72,8
					151,0					
					150,8					
3	HSF $a/c = 0,30$	5-may-14	12-may-14	7	152,5	18298	304	465,2	25,4	72,6
					152,7					
					152,7					
Promedio:									25,5	72,9
4	HSF $a/c = 0,30$	5-may-14	19-may-14	14	147,8	17242	299	548,2	31,8	90,8
					148,3					
					148,3					
5	HSF $a/c = 0,30$	5-may-14	19-may-14	14	150,1	17567	301	554,6	31,6	90,2
					150,0					
					148,6					
6	HSF $a/c = 0,30$	5-may-14	19-may-14	14	151,1	17605	298	556,0	31,6	90,2
					149,7					
					148,3					
Promedio:									31,6	90,4
7	HSF $a/c = 0,30$	5-may-14	2-jun-14	28	151,0	17834	303	676,0	37,9	108,3
					150,9					
					150,2					
8	HSF $a/c = 0,30$	5-may-14	2-jun-14	28	152,1	18233	301	684,2	37,5	107,2
					152,6					
					152,5					
9	HSF $a/c = 0,30$	5-may-14	2-jun-14	28	150,8	17806	303	688,6	38,7	110,5
					150,4					
					150,5					
Promedio:									38,0	108,7

Fuente: El Autor.

RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS

Tabla 8.5. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con una relación $a/c = 0,38$ para agregados de la cantera río Malacatos.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HSF $a/c = 0,38$	25-jun-14	2-jul-14	7	149,4	17583	300	392,6	22,3	63,8
					149,5					
					149,9					
2	HSF $a/c = 0,38$	25-jun-14	2-jul-14	7	145,6	16821	296	378,4	22,5	64,3
					146,6					
					146,9					
3	HSF $a/c = 0,38$	25-jun-14	2-jul-14	7	149,9	17668	301	384,0	21,7	62,1
					150,0					
					150,1					
Promedio:									22,2	63,4
4	HSF $a/c = 0,38$	25-jun-14	9-jul-14	14	148,4	17414	298	458,8	26,3	75,3
					149,2					
					149,1					
5	HSF $a/c = 0,38$	25-jun-14	9-jul-14	14	148,2	17589	300	468,0	26,6	76,0
					150,3					
					150,5					
6	HSF $a/c = 0,38$	25-jun-14	9-jul-14	14	147,9	17260	299	474,6	27,5	78,6
					148,4					
					148,4					
Promedio:									26,8	76,6
7	HSF $a/c = 0,38$	25-jun-14	23-jul-14	28	151,8	18165	304	574,2	31,6	90,3
					152,0					
					152,4					
8	HSF $a/c = 0,38$	25-jun-14	23-jul-14	28	149,9	17722	298	580,5	32,8	93,6
					150,4					
					150,4					
9	HSF $a/c = 0,38$	25-jun-14	23-jul-14	28	150,2	17788	300	581,3	32,7	93,4
					150,6					
					150,7					
Promedio:									32,3	92,4

Fuente: El Autor.

Tabla 8.6. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con una relación $a/c = 0,35$ para agregados de la cantera río Malacatos.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HSF $a/c = 0,35$	26-jun-14	3-jul-14	7	147,8	17519	299	412,1	23,5	67,2
					150,5					
					149,8					
2	HSF $a/c = 0,35$	26-jun-14	3-jul-14	7	150,6	17682	296	424,8	24,0	68,6
					149,9					
					149,6					
3	HSF $a/c = 0,35$	26-jun-14	3-jul-14	7	148,7	17660	302	418,7	23,7	67,7
					150,6					
					150,5					
Promedio:									23,8	67,9
4	HSF $a/c = 0,35$	26-jun-14	10-jul-14	14	152,2	18219	303	508,8	27,9	79,8
					152,2					
					152,5					
5	HSF $a/c = 0,35$	26-jun-14	10-jul-14	14	151,2	17838	302	514,6	28,8	82,4
					150,2					
					150,6					
6	HSF $a/c = 0,35$	26-jun-14	10-jul-14	14	151,4	18013	300	504,8	28,0	80,1
					151,5					
					151,4					
Promedio:									28,3	80,8
7	HSF $a/c = 0,35$	26-jun-14	24-jul-14	28	151,8	18116	305	635,9	35,1	100,3
					151,7					
					152,0					
8	HSF $a/c = 0,35$	26-jun-14	24-jul-14	28	149,9	17700	300	628,1	35,5	101,4
					150,2					
					150,3					
9	HSF $a/c = 0,35$	26-jun-14	24-jul-14	28	150,0	17909	300	624,6	34,9	99,6
					151,4					
					151,6					
Promedio:									35,2	100,4

Fuente: El Autor.

Tabla 8.7. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con una relación $a/c = 0,32$ para agregados de la cantera río Malacatos.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HSF $a/c = 0,32$	27-jun-14	4-jul-14	7	149,9	17686	303	456,8	25,8	73,8
					150,2					
					150,1					
2	HSF $a/c = 0,32$	27-jun-14	4-jul-14	7	150,0	17842	301	462,1	25,9	74,0
					151,4					
					150,7					
3	HSF $a/c = 0,32$	27-jun-14	4-jul-14	7	152,0	18169	304	454,2	25,0	71,4
					152,3					
					152,0					
Promedio:									25,6	73,1
4	HSF $a/c = 0,32$	27-jun-14	11-jul-14	14	149,7	17686	302	548,2	31,0	88,6
					150,3					
					150,2					
5	HSF $a/c = 0,32$	27-jun-14	11-jul-14	14	150,7	17682	299	538,9	30,5	87,1
					150,6					
					148,8					
6	HSF $a/c = 0,32$	27-jun-14	11-jul-14	14	149,1	17517	303	546,2	31,2	89,1
					149,6					
					149,3					
Promedio:									30,9	88,2
7	HSF $a/c = 0,32$	27-jun-14	25-jul-14	28	151,5	18088	304	678,9	37,5	107,2
					151,7					
					152,0					
8	HSF $a/c = 0,32$	27-jun-14	25-jul-14	28	150,1	17666	300	684,2	38,7	110,7
					149,9					
					149,9					
9	HSF $a/c = 0,32$	27-jun-14	25-jul-14	28	151,6	18053	299	688,6	38,1	109,0
					151,8					
					151,5					
Promedio:									38,1	109,0

Fuente: El Autor.

ANEXO III. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN PROBETAS DE PRUEBA CON FIBRA

- RESULTADOS DE PROBETAS CON FIBRA DE POLIPROPILENO
- RESULTADOS DE PROBETAS CON FIBRA METÁLICA

RESULTADOS DE PROBETAS CON FIBRA DE POLIPROPILENO

Tabla 8.8. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con fibra de polipropileno en una concentración de $0,91 \text{ kg/m}^3$.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm^2	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	14-may-14	7	151,2	17941	302	421,6	23,5	67,1
					150,9					
					151,4					
2	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	14-may-14	7	146,6	17081	296	418,6	24,5	70,0
					148,1					
					147,8					
3	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	14-may-14	7	150,8	17505	297	420,2	24,0	68,6
					148,7					
					148,3					
4	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	14-may-14	7	150,8	17878	300	416,9	23,3	66,6
					151,0					
					150,9					
Promedio:									23,8	68,1
5	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	21-may-14	14	151,8	17997	302	510,8	28,4	81,1
					151,2					
					151,2					
6	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	21-may-14	14	150,9	17945	303	508,2	28,3	80,9
					151,4					
					151,2					
7	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	21-may-14	14	150,1	17816	299	512,9	28,8	82,3
					150,5					
					151,3					
8	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	21-may-14	14	150,1	17605	298	512,2	29,1	83,1
					149,8					
					149,2					
Promedio:									28,7	82,1
9	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	4-jun-14	28	153,0	18437	302	648,0	35,1	100,4
					153,3					
					153,3					
10	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	4-jun-14	28	153,8	18604	303	656,4	35,3	100,8
					154,4					
					153,5					
11	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	4-jun-14	28	149,9	17810	302	652,6	36,6	104,7
					150,8					
					151,0					
12	HCFP 0,91 kg/m ³	7-may-14	4-jun-14	28	150,9	17872	299	650,2	36,4	103,9
					150,9					
					150,7					
Promedio:									36,1	103,1

Fuente: El Autor.

Tabla 8.9. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con fibra de polipropileno en una concentración de $1,37 \text{ kg/m}^3$.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm^2	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	15-may-14	7	150,1	17754	300	438,0	24,7	70,5
					150,4					
					150,6					
2	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	15-may-14	7	150,6	17899	303	442,3	24,7	70,6
					151,1					
					151,1					
3	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	15-may-14	7	150,7	17913	303	437,6	24,4	69,8
					151,3					
					151,0					
4	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	15-may-14	7	150,7	17872	302	456,8	25,6	73,0
					151,0					
					150,8					
Promedio:									24,8	71,0
5	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	22-may-14	14	152,0	17999	300	535,9	29,8	85,1
					151,3					
					150,9					
6	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	22-may-14	14	146,9	17083	296	524,8	30,7	87,8
					148,1					
					147,4					
7	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	22-may-14	14	150,9	17880	302	537,2	30,0	85,8
					150,9					
					150,9					
8	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	22-may-14	14	152,5	18298	304	536,7	29,3	83,8
					152,7					
					152,7					
Promedio:									30,0	85,8
9	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	5-jun-14	28	149,9	17674	301	658,2	37,2	106,4
					150,1					
					150,0					
10	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	5-jun-14	28	153,6	18549	300	670,4	36,1	103,3
					153,6					
					153,8					
11	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	5-jun-14	28	151,3	17573	298	664,0	37,8	108,0
					149,0					
					148,5					
12	HCFP 1,37 kg/m ³	8-may-14	5-jun-14	28	147,8	17262	300	659,2	38,2	109,1
					148,6					
					148,3					
Promedio:									37,4	106,8

Fuente: El Autor.

Tabla 8.10. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con fibra de polipropileno en una concentración de $1,82 \text{ kg/m}^3$.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm^2	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	21-may-14	7	146,6	17075	294	429,9	25,2	71,9
					148,2					
					147,6					
2	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	21-may-14	7	150,9	17963	300	431,9	24,0	68,7
					151,4					
					151,4					
3	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	21-may-14	7	150,6	17888	303	436,5	24,4	69,7
					151,1					
					151,1					
4	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	21-may-14	7	152,0	18237	298	426,8	23,4	66,9
					152,5					
					152,6					
Promedio:									24,3	69,3
5	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	28-may-14	14	151,6	17991	300	525,6	29,2	83,5
					151,1					
					151,3					
6	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	28-may-14	14	151,1	17577	297	514,8	29,3	83,7
					149,1					
					148,5					
7	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	28-may-14	14	150,9	17539	298	520,1	29,7	84,7
					149,0					
					148,4					
8	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	28-may-14	14	151,3	17774	299	519,6	29,2	83,5
					150,4					
					149,7					
Promedio:									29,4	84,0
9	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	11-jun-14	28	149,2	17487	303	651,6	37,3	106,5
					149,4					
					149,0					
10	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	11-jun-14	28	153,3	18573	299	662,8	35,7	102,0
					153,7					
					154,3					
11	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	11-jun-14	28	149,9	17752	300	659,7	37,2	106,2
					150,4					
					150,7					
12	HCFP 1,82 kg/m ³	14-may-14	11-jun-14	28	150,9	17832	301	660,1	37,0	105,8
					150,7					
					150,5					
Promedio:									36,6	104,6

Fuente: El Autor.

RESULTADOS DE PROBETAS CON FIBRA METÁLICA

Tabla 8.11. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con fibra metálica en una concentración de $15,68 \text{ kg/m}^3$.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm^2	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	3-jun-14	7	149,3	17666	300	434,5	24,6	70,3
					150,1					
					150,5					
2	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	3-jun-14	7	148,2	17331	300	439,7	25,4	72,5
					148,6					
					148,8					
3	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	3-jun-14	7	150,2	17798	296	442,6	24,9	71,0
					150,8					
					150,7					
4	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	3-jun-14	7	152,2	18195	304	444,8	24,4	69,8
					152,2					
					152,2					
Promedio:									24,8	70,9
5	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	10-jun-14	14	151,2	17905	300	522,8	29,2	83,4
					151,2					
					150,6					
6	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	10-jun-14	14	153,3	18563	300	522,7	28,2	80,5
					153,7					
					154,3					
7	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	10-jun-14	14	149,5	17589	303	526,4	29,9	85,5
					149,8					
					149,7					
8	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	10-jun-14	14	150,3	17750	302	526,9	29,7	84,8
					150,3					
					150,3					
Promedio:									29,3	83,6
9	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	24-jun-14	28	151,6	18023	298	678,2	37,6	107,5
					151,4					
					151,5					
10	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	24-jun-14	28	150,6	17862	304	682,4	38,2	109,2
					151,0					
					150,8					
11	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	24-jun-14	28	152,1	18197	305	680,1	37,4	106,8
					152,3					
					152,3					
12	HCFM 15,68 kg/m ³	27-may-14	24-jun-14	28	151,0	17895	303	676,2	37,8	108,0
					151,1					
					150,7					
Promedio:									37,8	108,0

Fuente: El Autor.

Tabla 8.12. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con fibra metálica en una concentración de $39,20 \text{ kg/m}^3$.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm^2	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	5-jun-14	7	149,7	17700	302	454,8	25,7	73,4
					150,1					
					150,5					
2	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	5-jun-14	7	148,2	17331	297	458,6	26,5	75,6
					148,6					
					148,8					
3	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	5-jun-14	7	151,7	18003	297	450,2	25,0	71,4
					151,2					
					151,4					
4	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	5-jun-14	7	149,7	17662	302	451,7	25,6	73,1
					150,3					
					149,9					
Promedio:									25,7	73,4
5	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	12-jun-14	14	153,4	18565	299	556,6	30,0	85,7
					153,7					
					154,1					
6	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	12-jun-14	14	150,7	17840	299	553,0	31,0	88,6
					150,8					
					150,6					
7	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	12-jun-14	14	150,4	17891	302	560,9	31,4	89,6
					151,2					
					151,2					
8	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	12-jun-14	14	152,2	18171	303	552,7	30,4	86,9
					152,1					
					152,0					
Promedio:									30,9	88,3
9	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	26-jun-14	28	148,4	17309	300	692,9	40,0	114,4
					148,5					
					148,5					
10	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	26-jun-14	28	150,4	17758	304	688,4	38,8	110,8
					150,3					
					150,4					
11	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	26-jun-14	28	151,4	17563	297	692,7	39,4	112,7
					149,3					
					147,9					
12	HCFM 39,20 kg/m ³	29-may-14	26-jun-14	28	151,2	17963	298	696,0	38,7	110,7
					151,2					
					151,3					
Promedio:									39,0	111,4

Fuente: El Autor.

Tabla 8.13. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas diseñadas para $f'_c = 35$ MPa con fibra metálica en una concentración de $62,72 \text{ kg/m}^3$.

N°	Identi. Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Edad (días)	D (mm)	Sección mm^2	L (mm)	Carga (kN)	Resistencia	
									MPa	%
1	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	9-jun-14	7	149,1	17627	297	475,6	27,0	77,1
					150,0					
					150,3					
2	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	9-jun-14	7	153,2	18541	300	472,8	25,5	72,9
					153,7					
					154,1					
3	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	9-jun-14	7	151,7	18076	298	470,1	26,0	74,3
					151,5					
					151,9					
4	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	9-jun-14	7	148,1	17268	302	469,7	27,2	77,7
					148,4					
					148,3					
Promedio:									26,4	75,5
5	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	16-jun-14	14	152,1	18187	304	566,0	31,1	88,9
					152,1					
					152,2					
6	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	16-jun-14	14	150,6	17565	298	565,8	32,2	92,0
					149,3					
					148,7					
7	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	16-jun-14	14	149,6	17631	302	572,8	32,5	92,8
					149,8					
					150,1					
8	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	16-jun-14	14	150,3	17750	300	564,2	31,8	90,8
					150,5					
					150,2					
Promedio:									32,2	91,9
9	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	30-jun-14	28	146,6	16734	303	695,8	41,6	118,8
					146,8					
					144,5					
10	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	30-jun-14	28	151,3	17961	305	710,2	39,5	113,0
					151,1					
					151,3					
11	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	30-jun-14	28	148,0	17297	299	714,5	41,3	118,0
					148,3					
					148,8					
12	HCFM 62,72 kg/m ³	2-jun-14	30-jun-14	28	151,3	17907	300	718,6	40,1	114,7
					150,8					
					150,9					
Promedio:									40,3	115,2

Fuente: El Autor.

ANEXO IV. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS EN ESPECÍMENES FINALES

RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON AGREGADOS DE LA
CANTERA RÍO BOQUERÓN

- HORMIGÓN SIN FIBRA
- HORMIGÓN CON FIBRA DE POLIPROPILENO
- HORMIGÓN CON FIBRA METÁLICA

RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON AGREGADOS DE LA
CANTERA RÍO MALACATOS

- HORMIGÓN SIN FIBRA.
- HORMIGÓN CON FIBRA DE POLIPROPILENO.
- HORMIGÓN CON FIBRA METÁLICA.

RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN

HORMIGÓN SIN FIBRA

Tabla 8.14. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
1	CRB.HSF.C1	7-jul-14	14-jul-14	146,7	17110	294	11,78	394,7	23,1	65,9	2341,74	5
				148,2								
				147,9								
2	CRB.HSF.C2	7-jul-14	14-jul-14	149,8	17728	300	12,52	414,9	23,4	66,9	2354,05	5
				150,4								
				150,5								
3	CRB.HSF.C3	7-jul-14	14-jul-14	150,4	17963	297	12,50	416,6	23,2	66,3	2343,03	3
				152,9								
				150,4								
4	CRB.HSF.C4	7-jul-14	14-jul-14	154,8	18676	305	13,14	438,2	23,5	67,0	2306,84	3
				154,3								
				153,5								
5	CRB.HSF.C5	7-jul-14	14-jul-14	151,1	17820	300	12,64	408,6	22,9	65,5	2364,34	5
				150,8								
				150,0								
6	CRB.HSF.C6	7-jul-14	14-jul-14	150,2	17660	295	11,92	412,8	23,4	66,8	2287,99	5
				150,1								
				149,6								
7	CRB.HSF.C7	7-jul-14	14-jul-14	149,0	17551	297	11,82	424,6	24,2	69,1	2267,57	5
				150,2								
				149,2								
8	CRB.HSF.C8	7-jul-14	14-jul-14	152,0	18229	301	12,62	408,8	22,4	64,1	2299,97	5
				152,3								
				152,8								
9	CRB.HSF.C9	7-jul-14	14-jul-14	150,1	17702	300	12,40	438,5	24,8	70,8	2334,91	5
				150,1								
				150,2								
10	CRB.HSF.C10	7-jul-14	14-jul-14	150,4	17513	297	12,26	409,1	23,4	66,7	2357,06	5
				149,1								
				148,5								
Promedio:									23,4	66,9		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.15. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
11	CRB.HSF.C11	7-jul-14	21-jul-14	152,6	18227	305	12,96	517,5	28,4	81,1	2331,22	3
				152,1								
				152,3								
12	CRB.HSF.C12	7-jul-14	21-jul-14	149,1	17682	299	12,88	497,8	28,2	80,4	2436,15	5
				150,6								
				150,4								
13	CRB.HSF.C13	7-jul-14	21-jul-14	150,4	17700	301	12,86	512,7	29,0	82,8	2413,76	3
				149,6								
				150,4								
14	CRB.HSF.C14	7-jul-14	21-jul-14	149,7	17640	302	12,60	485,6	27,5	78,7	2365,12	2
				149,9								
				149,9								
15	CRB.HSF.C15	7-jul-14	21-jul-14	152,2	18231	305	13,10	533,6	29,3	83,6	2355,88	3
				152,3								
				152,6								
16	CRB.HSF.C16	7-jul-14	21-jul-14	150,8	17742	298	12,68	498,8	28,1	80,3	2398,25	5
				148,9								
				151,2								
17	CRB.HSF.C17	7-jul-14	21-jul-14	150,1	17796	297	12,62	496,0	27,9	79,6	2387,67	5
				150,6								
				150,9								
18	CRB.HSF.C18	7-jul-14	21-jul-14	152,1	18183	305	13,02	512,3	28,2	80,5	2347,75	5
				152,1								
				152,2								
19	CRB.HSF.C19	7-jul-14	21-jul-14	153,0	18351	302	12,78	506,9	27,6	78,9	2306,02	2
				152,6								
				152,9								
20	CRB.HSF.C20	7-jul-14	21-jul-14	153,6	18532	300	12,86	522,5	28,2	80,6	2313,06	5
				153,5								
				153,7								
Promedio:									28,2	80,7		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.16. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
21	CRB.HSF.C21	2-jul-14	30-jul-14	151,1	17983	303	12,78	637,9	35,5	101,3	2345,46	1
				151,4								
				151,4								
22	CRB.HSF.C22	2-jul-14	30-jul-14	152,1	18181	303	13,00	638,6	35,1	100,4	2359,88	5
				152,0								
				152,3								
23	CRB.HSF.C23	2-jul-14	30-jul-14	153,7	18537	306	13,16	637,3	34,4	98,2	2320,09	5
				153,5								
				153,6								
24	CRB.HSF.C24	2-jul-14	30-jul-14	151,8	18098	305	13,04	642,6	35,5	101,4	2362,39	1
				151,9								
				151,6								
25	CRB.HSF.C25	2-jul-14	30-jul-14	150,4	17774	300	12,52	633,1	35,6	101,8	2347,96	5
				150,5								
				150,4								
26	CRB.HSF.C26	2-jul-14	30-jul-14	149,8	17774	300	12,30	609,9	34,3	98,0	2306,70	5
				150,7								
				150,7								
27	CRB.HSF.C27	2-jul-14	30-jul-14	152,3	18185	305	13,08	638,2	35,1	100,3	2358,31	2
				152,0								
				152,1								
28	CRB.HSF.C28	2-jul-14	30-jul-14	146,1	16813	297	11,64	630,7	37,5	107,2	2331,01	5
				145,6								
				147,3								
29	CRB.HSF.C29	2-jul-14	30-jul-14	151,2	17882	301	12,56	615,9	34,4	98,4	2333,43	5
				150,2								
				151,3								
30	CRB.HSF.C30	2-jul-14	30-jul-14	152,6	18233	303	13,04	639,0	35,0	100,1	2360,31	3
				152,3								
				152,2								
31	CRB.HSF.C31	2-jul-14	30-jul-14	150,4	17929	300	12,58	636,5	35,5	101,4	2338,90	5
				151,1								
				151,8								
32	CRB.HSF.C32	2-jul-14	30-jul-14	146,7	17112	295	11,80	628,4	36,7	104,9	2337,50	5
				148,3								
				147,9								
33	CRB.HSF.C33	2-jul-14	30-jul-14	150,0	17664	300	12,58	636,6	36,0	103,0	2373,89	5
				150,0								
				149,9								

Fuente: El Autor.

Tabla 8.16. (Continuación) Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (Kg)	Carga (KN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
34	CRB.HSF.C34	2-jul-14	30-jul-14	150,1	17724	300	12,52	642,1	36,2	103,5	2354,58	5
				150,2								
				150,4								
35	CRB.HSF.C35	2-jul-14	30-jul-14	152,1	18191	304	13,14	640,4	35,2	100,6	2376,12	5
				152,0								
				152,4								
36	CRB.HSF.C36	2-jul-14	30-jul-14	151,3	17664	298	12,30	636,8	36,0	103,0	2336,63	5
				149,7								
				148,9								
37	CRB.HSF.C37	2-jul-14	30-jul-14	149,4	17754	296	12,32	634,5	35,7	102,1	2344,32	3
				150,7								
				150,9								
38	CRB.HSF.C38	2-jul-14	30-jul-14	150,2	17712	300	12,40	636,6	35,9	102,7	2333,59	5
				150,4								
				149,9								
39	CRB.HSF.C39	2-jul-14	30-jul-14	150,0	17708	302	12,54	635,4	35,9	102,5	2344,84	4
				150,1								
				150,3								
40	CRB.HSF.C40	2-jul-14	30-jul-14	148,7	17410	300	12,16	629,6	36,2	103,3	2328,16	5
				148,8								
				149,1								
41	CRB.HSF.C41	2-jul-14	30-jul-14	146,5	17075	294	11,62	628,2	36,8	105,1	2314,71	3
				148,2								
				147,6								
42	CRB.HSF.C42	2-jul-14	30-jul-14	150,2	17720	300	12,44	638,6	36,0	103,0	2340,07	1
				150,3								
				150,1								
43	CRB.HSF.C43	2-jul-14	30-jul-14	150,2	17784	300	12,54	632,6	35,6	101,6	2350,39	5
				150,6								
				150,6								
44	CRB.HSF.C44	2-jul-14	30-jul-14	152,7	18319	300	12,76	648,0	35,4	101,1	2321,87	1
				152,9								
				152,6								
45	CRB.HSF.C45	2-jul-14	30-jul-14	151,3	17995	304	12,96	643,9	35,8	102,2	2369,07	3
				151,2								
				151,6								
Promedio:									35,7	101,9		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.17. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra.

N°	Identificación viga	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Ancho (mm)	Ancho prom. (mm)	Altura (mm)	Altura prom. (mm)	Carga (N)	Módulo de rotura		Módulo de rotura requerido (MPa)
									MPa	%	
1	CRB.HSF.V1	1-sep-14	29-sep-14	152	152,67	152	151,67	35500	4,55	108,6	4,19
				153		152					
				153		151					
2	CRB.HSF.V2	1-sep-14	29-sep-14	152	152,00	156	157,67	36900	4,39	104,8	4,19
				153		158					
				151		159					
3	CRB.HSF.V3	1-sep-14	29-sep-14	152	152,00	152	152,67	33800	4,29	102,4	4,19
				152		152					
				152		154					
4	CRB.HSF.V4	1-sep-14	29-sep-14	153	152,33	153	153,33	34000	4,27	101,9	4,19
				152		153					
				152		154					
5	CRB.HSF.V5	1-sep-14	29-sep-14	152	152,67	160	159,67	36200	4,19	100,0	4,19
				153		159					
				153		160					
6	CRB.HSF.V6	1-sep-14	29-sep-14	153	154,00	155	154,00	34800	4,29	102,4	4,19
				154		154					
				155		153					
7	CRB.HSF.V7	2-sep-14	30-sep-14	152	152,33	153	152,67	33500	4,25	101,4	4,19
				152		153					
				153		152					
8	CRB.HSF.V8	2-sep-14	30-sep-14	152	152,00	156	156,67	35200	4,25	101,4	4,19
				152		157					
				152		157					
9	CRB.HSF.V9	2-sep-14	30-sep-14	153	153,00	151	152,67	34600	4,37	104,3	4,19
				153		153					
				153		154					
10	CRB.HSF.V10	2-sep-14	30-sep-14	152	152,33	151	150,33	34700	4,54	108,4	4,19
				152		150					
				153		150					
11	CRB.HSF.V11	2-sep-14	30-sep-14	150	150,33	156	156,00	34300	4,22	100,7	4,19
				150		155					
				151		157					
12	CRB.HSF.V12	2-sep-14	30-sep-14	156	154,00	155	154,33	34200	4,20	100,2	4,19
				153		154					
				153		154					
13	CRB.HSF.V13	10-sep-14	8-oct-14	152	152,00	152	152,33	35200	4,49	107,2	4,19
				152		153					
				152		152					
14	CRB.HSF.V14	10-sep-14	8-oct-14	153	152,33	154	154,33	34600	4,29	102,4	4,19
				152		155					
				152		154					
15	CRB.HSF.V15	10-sep-14	8-oct-14	154	152,67	152	152,00	33700	4,30	102,6	4,19
				152		152					
				152		152					
Promedio:									4,33	103,2	

Fuente: El Autor.

HORMIGÓN CON FIBRA DE POLIPROPILENO

Tabla 8.18. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
1	CRB.HCFP. C1	22-jul-14	29-jul-14	151,5	17656	300	12,32	437,9	24,8	70,9	2325,88	3
				149,4								
				148,9								
2	CRB.HCFP. C2	22-jul-14	29-jul-14	152,3	18187	305	13,04	440,3	24,2	69,2	2350,83	5
				152,0								
				152,3								
3	CRB.HCFP. C3	22-jul-14	29-jul-14	149,5	17670	299	12,18	428,6	24,3	69,3	2305,31	5
				150,1								
				150,3								
4	CRB.HCFP. C4	22-jul-14	29-jul-14	148,4	17280	302	12,26	460,0	26,6	76,1	2349,36	4
				148,3								
				148,3								
5	CRB.HCFP. C5	22-jul-14	29-jul-14	152,5	18207	303	13,12	448,9	24,7	70,4	2378,22	4
				152,2								
				152,0								
6	CRB.HCFP. C6	22-jul-14	29-jul-14	145,6	16821	297	11,80	432,9	25,7	73,5	2361,96	2
				145,8								
				147,6								
7	CRB.HCFP. C7	22-jul-14	29-jul-14	149,4	17635	298	12,20	428,4	24,3	69,4	2321,56	5
				150,0								
				150,2								
8	CRB.HCFP. C8	22-jul-14	29-jul-14	150,3	17828	300	12,78	434,6	24,4	69,6	2389,45	5
				151,1								
				150,6								
9	CRB.HCFP. C9	22-jul-14	29-jul-14	153,7	18496	299	12,86	460,8	24,9	71,2	2325,41	5
				153,4								
				153,3								
10	CRB.HCFP. C10	22-jul-14	29-jul-14	149,6	17464	298	12,40	435,1	24,9	71,2	2382,72	5
				149,1								
				148,6								
Promedio:									24,9	71,1		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.19. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
11	CRB.HCFP. C11	23-jul-14	6-ago-14	150,5	17836	298	12,64	527,9	29,6	84,6	2378,07	5
				150,9								
				150,7								
12	CRB.HCFP. C12	23-jul-14	6-ago-14	149,4	17603	301	12,52	530,3	30,1	86,1	2362,98	5
				149,8								
				150,0								
13	CRB.HCFP. C13	23-jul-14	6-ago-14	150,1	17706	300	12,44	538,6	30,4	86,9	2341,91	5
				150,1								
				150,2								
14	CRB.HCFP. C14	23-jul-14	6-ago-14	149,6	17698	304	12,72	544,6	30,8	87,9	2364,18	6
				150,3								
				150,4								
15	CRB.HCFP. C15	23-jul-14	6-ago-14	149,9	17730	300	12,44	531,1	30,0	85,6	2338,75	6
				150,5								
				150,4								
16	CRB.HCFP. C16	23-jul-14	6-ago-14	150,7	17866	299	12,68	532,9	29,8	85,2	2373,62	3
				150,8								
				151,0								
17	CRB.HCFP. C17	23-jul-14	6-ago-14	152,1	18179	304	13,00	525,5	28,9	82,6	2352,38	5
				152,1								
				152,2								
18	CRB.HCFP. C18	23-jul-14	6-ago-14	151,2	18015	300	12,74	528,4	29,3	83,8	2357,27	3
				151,6								
				151,5								
19	CRB.HCFP. C19	23-jul-14	6-ago-14	150,3	17913	300	12,62	538,2	30,0	85,8	2348,44	6
				151,2								
				151,6								
20	CRB.HCFP. C20	23-jul-14	6-ago-14	151,9	18003	301	12,88	540,8	30,0	85,8	2376,85	5
				152,3								
				150,0								
Promedio:									29,9	85,4		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.20. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
21	CRB.HCFP. C21	2-jul-14	30-jul-14	149,8	17678	303	12,64	678,8	38,4	109,7	2359,73	3
				150,1								
				150,1								
22	CRB.HCFP. C22	2-jul-14	30-jul-14	151,3	17605	300	12,48	664,7	37,8	107,9	2363,02	3
				149,2								
				148,6								
23	CRB.HCFP. C23	2-jul-14	30-jul-14	149,0	17505	300	12,36	651,7	37,2	106,4	2353,59	3
				149,2								
				149,7								
24	CRB.HCFP. C24	2-jul-14	30-jul-14	152,3	18189	303	13,04	655,8	36,1	103,0	2366,09	3
				152,1								
				152,2								
25	CRB.HCFP. C25	2-jul-14	30-jul-14	148,7	17361	300	12,24	675,7	38,9	111,2	2350,15	5
				148,4								
				148,9								
26	CRB.HCFP. C26	2-jul-14	30-jul-14	152,3	18227	305	13,04	656,0	36,0	102,8	2345,61	5
				152,3								
				152,4								
27	CRB.HCFP. C27	2-jul-14	30-jul-14	152,1	18191	304	13,08	652,8	35,9	102,5	2365,27	5
				152,0								
				152,4								
28	CRB.HCFP. C28	2-jul-14	30-jul-14	149,5	17672	300	12,64	650,2	36,8	105,1	2384,13	5
				150,1								
				150,4								
29	CRB.HCFP. C29	2-jul-14	30-jul-14	149,4	17692	298	12,26	657,9	37,2	106,2	2325,35	5
				150,5								
				150,4								
30	CRB.HCFP. C30	2-jul-14	30-jul-14	149,6	17589	300	12,88	648,6	36,9	105,4	2440,96	3
				149,5								
				149,9								
31	CRB.HCFP. C31	2-jul-14	30-jul-14	149,3	17446	299	12,42	646,5	37,1	105,9	2381,02	3
				148,9								
				148,9								
32	CRB.HCFP. C32	2-jul-14	30-jul-14	152,2	18203	305	13,10	664,8	36,5	104,3	2359,55	5
				152,2								
				152,3								
33	CRB.HCFP. C33	2-jul-14	30-jul-14	150,3	17786	301	12,52	673,8	37,9	108,2	2338,58	5
				150,5								
				150,7								

Fuente: El Autor.

Tabla 8.20. (Continuación) Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
34	CRB.HCFP. C34	2-jul-14	30-jul-14	153,5	18573	300	12,84	668,9	36,0	102,9	2304,38	5
				153,6								
				154,2								
35	CRB.HCFP. C35	2-jul-14	30-jul-14	149,1	17529	300	12,30	647,0	36,9	105,5	2338,98	5
				149,4								
				149,7								
36	CRB.HCFP. C36	2-jul-14	30-jul-14	150,6	17826	298	12,68	653,2	36,6	104,7	2386,94	5
				150,6								
				150,7								
37	CRB.HCFP. C37	2-jul-14	30-jul-14	148,6	17323	300	12,22	644,8	37,2	106,3	2351,40	1
				148,5								
				148,5								
38	CRB.HCFP. C38	2-jul-14	30-jul-14	151,5	18047	301	12,72	659,3	36,5	104,4	2341,56	1
				151,7								
				151,6								
39	CRB.HCFP. C39	2-jul-14	30-jul-14	149,1	17440	300	12,38	638,9	36,6	104,7	2366,24	5
				150,9								
				147,1								
40	CRB.HCFP. C40	2-jul-14	30-jul-14	147,8	16815	298	11,62	646,7	38,5	109,9	2318,93	5
				144,3								
				146,8								
41	CRB.HCFP. C41	2-jul-14	30-jul-14	152,3	18195	306	13,06	664,0	36,5	104,3	2345,70	3
				152,1								
				152,2								
42	CRB.HCFP. C42	2-jul-14	30-jul-14	154,6	18610	305	13,20	684,4	36,8	105,1	2325,54	3
				153,9								
				153,3								
43	CRB.HCFP. C43	2-jul-14	30-jul-14	149,9	17758	300	12,52	666,8	37,5	107,3	2350,08	5
				149,9								
				151,4								
44	CRB.HCFP. C44	2-jul-14	30-jul-14	150,4	17949	300	12,64	668,5	37,2	106,4	2347,42	5
				151,4								
				151,6								
45	CRB.HCFP. C45	2-jul-14	30-jul-14	149,6	17341	301	12,46	650,2	37,5	107,1	2387,17	3
				146,8								
				149,4								
Promedio:									37,1	105,9		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.21. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno.

N°	Identificación viga	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Ancho (mm)	Ancho prom. (mm)	Altura (mm)	Altura prom. (mm)	Carga (N)	Módulo de rotura		Módulo de rotura requerido (MPa)
									MPa	%	
1	CRB.HCFP.V1	3-sep-14	1-oct-14	151	152,00	152	153,00	37500	4,74	113,1	4,19
				152		152					
				153		155					
2	CRB.HCFP.V2	3-sep-14	1-oct-14	152	151,33	159	159,67	36900	4,30	102,6	4,19
				152		160					
				150		160					
3	CRB.HCFP.V3	3-sep-14	1-oct-14	152	152,67	153	154,00	37400	4,65	111,0	4,19
				153		154					
				153		155					
4	CRB.HCFP.V4	3-sep-14	1-oct-14	153	153,00	150	150,33	37700	4,91	117,2	4,19
				153		150					
				153		151					
5	CRB.HCFP.V5	3-sep-14	1-oct-14	152	151,00	159	159,33	37400	4,39	104,8	4,19
				151		159					
				150		160					
6	CRB.HCFP.V6	3-sep-14	1-oct-14	153	153,33	152	153,00	38200	4,79	114,3	4,19
				154		154					
				153		153					
7	CRB.HCFP.V7	4-sep-14	2-oct-14	151	151,67	152	152,00	37900	4,87	116,2	4,19
				152		153					
				152		151					
8	CRB.HCFP.V8	4-sep-14	2-oct-14	152	152,00	151	152,00	37100	4,75	113,4	4,19
				152		152					
				152		153					
9	CRB.HCFP.V9	4-sep-14	2-oct-14	152	152,33	154	153,67	38200	4,78	114,1	4,19
				152		153					
				153		154					
10	CRB.HCFP.V10	4-sep-14	2-oct-14	154	154,00	155	155,00	37700	4,59	109,5	4,19
				154		156					
				154		154					
11	CRB.HCFP.V11	4-sep-14	2-oct-14	152	152,00	160	160,00	37200	4,30	102,6	4,19
				152		160					
				152		160					
12	CRB.HCFP.V12	4-sep-14	2-oct-14	154	154,33	160	160,00	38000	4,33	103,3	4,19
				155		160					
				154		160					
13	CRB.HCFP.V13	10-sep-14	8-oct-14	154	154,33	157	156,00	38400	4,60	109,8	4,19
				153		155					
				156		156					
14	CRB.HCFP.V14	10-sep-14	8-oct-14	152	152,00	158	158,67	37600	4,42	105,5	4,19
				152		159					
				152		159					
15	CRB.HCFP.V15	10-sep-14	8-oct-14	152	152,33	154	153,00	37900	4,78	114,1	4,19
				153		153					
				152		152					
Promedio:									4,61	110,1	

Fuente: El Autor.

HORMIGÓN CON FIBRA METÁLICA

Tabla 8.22. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
1	CRB.HCFM. C1	1-ago-14	8-ago-14	151,1	17603	300	12,56	451,1	25,6	73,2	2378,43	5
				149,3								
				148,7								
2	CRB.HCFM. C2	1-ago-14	8-ago-14	150,0	17750	300	12,65	458,9	25,9	73,9	2375,58	5
				151,0								
				150,0								
3	CRB.HCFM. C3	1-ago-14	8-ago-14	148,5	17246	300	12,28	461,4	26,8	76,4	2373,49	5
				148,1								
				148,0								
4	CRB.HCFM. C4	1-ago-14	8-ago-14	149,5	17710	300	12,70	450,7	25,4	72,7	2390,32	5
				150,4								
				150,5								
5	CRB.HCFM. C5	1-ago-14	8-ago-14	154,0	18385	298	12,72	457,6	24,9	71,1	2321,66	3
				152,0								
				153,0								
6	CRB.HCFM. C6	1-ago-14	8-ago-14	153,7	18545	300	13,00	487,4	26,3	75,1	2336,69	5
				153,5								
				153,8								
7	CRB.HCFM. C7	1-ago-14	8-ago-14	152,7	18657	301	13,48	462,7	24,8	70,9	2400,42	5
				153,7								
				156,0								
8	CRB.HCFM. C8	1-ago-14	8-ago-14	150,2	17917	302	12,44	460,4	25,7	73,4	2299,10	3
				151,3								
				151,6								
9	CRB.HCFM. C9	1-ago-14	8-ago-14	151,1	17947	300	12,46	456,2	25,4	72,6	2314,25	1
				150,9								
				151,5								
10	CRB.HCFM. C10	1-ago-14	8-ago-14	149,5	17565	300	12,54	457,1	26,0	74,4	2379,76	5
				149,5								
				149,7								
Promedio:									25,7	73,4		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.23. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
11	CRB.HCFM. C11	31-jul-14	14-ago-14	152,1	18197	301	12,46	548,3	30,1	86,1	2274,86	5
				152,3								
				152,2								
12	CRB.HCFM. C12	31-jul-14	14-ago-14	150,5	17754	297	12,18	551,2	31,0	88,7	2309,87	5
				150,3								
				150,3								
13	CRB.HCFM. C13	31-jul-14	14-ago-14	150,7	17854	301	12,14	545,6	30,6	87,3	2258,95	3
				150,8								
				150,9								
14	CRB.HCFM. C14	31-jul-14	14-ago-14	148,5	17323	298	11,68	552,3	31,9	91,1	2262,58	5
				148,4								
				148,6								
15	CRB.HCFM. C15	31-jul-14	14-ago-14	146,8	17026	301	12,58	552,9	32,5	92,8	2454,71	2
				146,3								
				148,6								
16	CRB.HCFM. C16	31-jul-14	14-ago-14	148,8	17525	300	12,10	556,8	31,8	90,8	2301,47	5
				149,7								
				149,7								
17	CRB.HCFM. C17	31-jul-14	14-ago-14	150,0	17706	299	12,12	556,7	31,4	89,8	2289,30	6
				150,2								
				150,3								
18	CRB.HCFM. C18	31-jul-14	14-ago-14	152,1	18148	302	12,72	554,0	30,5	87,2	2320,83	5
				151,9								
				152,0								
19	CRB.HCFM. C19	31-jul-14	14-ago-14	152,3	18225	302	12,52	547,8	30,1	85,9	2274,70	5
				152,2								
				152,4								
20	CRB.HCFM. C20	31-jul-14	14-ago-14	150,1	17686	300	12,22	555,9	31,4	89,8	2303,09	3
				150,1								
				150,0								
Promedio:									31,1	88,9		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.24. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
21	CRB.HCFM. C21	30-jul-14	27-ago-14	150,1	17897	302	12,72	695,5	38,9	111,0	2353,48	5
				151,3								
				151,5								
22	CRB.HCFM. C22	30-jul-14	27-ago-14	149,8	17730	300	12,70	694,1	39,1	111,9	2387,63	5
				150,4								
				150,5								
23	CRB.HCFM. C23	30-jul-14	27-ago-14	151,0	17599	299	12,56	697,4	39,6	113,2	2386,93	5
				149,3								
				148,8								
24	CRB.HCFM. C24	30-jul-14	27-ago-14	149,7	17672	296	12,38	702,4	39,7	113,6	2366,65	5
				150,0								
				150,3								
25	CRB.HCFM. C25	30-jul-14	27-ago-14	145,8	17246	305	13,28	730,0	42,3	120,9	2524,69	5
				151,4								
				147,3								
26	CRB.HCFM. C26	30-jul-14	27-ago-14	150,0	17718	302	12,66	682,9	38,5	110,1	2365,95	5
				150,1								
				150,5								
27	CRB.HCFM. C27	30-jul-14	27-ago-14	150,2	17710	299	12,26	686,8	38,8	110,8	2315,22	2
				150,1								
				150,3								
28	CRB.HCFM. C28	30-jul-14	27-ago-14	150,6	17872	301	12,82	689,8	38,6	110,3	2383,07	5
				150,9								
				151,1								
29	CRB.HCFM. C29	30-jul-14	27-ago-14	149,5	17704	303	12,86	692,7	39,1	111,8	2397,28	5
				150,3								
				150,6								
30	CRB.HCFM. C30	30-jul-14	27-ago-14	149,1	17517	299	12,38	681,8	38,9	111,2	2363,67	3
				149,3								
				149,7								
31	CRB.HCFM. C31	30-jul-14	27-ago-14	148,3	17278	300	12,36	682,9	39,5	112,9	2384,59	5
				148,3								
				148,4								
32	CRB.HCFM. C32	30-jul-14	27-ago-14	146,2	17083	296	11,94	690,3	40,4	115,5	2361,30	5
				148,4								
				147,8								
33	CRB.HCFM. C33	30-jul-14	27-ago-14	152,5	18276	299	12,36	686,6	37,6	107,3	2261,87	6
				152,7								
				152,5								

Fuente: El Autor.

Tabla 8.24. (Continuación) Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
34	CRB.HCFM. C34	30-jul-14	27-ago-14	151,3	18100	302	12,58	692,5	38,3	109,3	2301,43	5
				151,8								
				152,3								
35	CRB.HCFM. C35	30-jul-14	27-ago-14	150,1	17736	300	12,14	687,9	38,8	110,8	2281,58	3
				150,3								
				150,5								
36	CRB.HCFM. C36	30-jul-14	27-ago-14	153,0	18396	300	12,56	689,8	37,5	107,1	2275,88	5
				152,9								
				153,3								
37	CRB.HCFM. C37	30-jul-14	27-ago-14	150,9	17919	303	13,24	691,4	38,6	110,2	2438,60	5
				151,1								
				151,1								
38	CRB.HCFM. C38	30-jul-14	27-ago-14	152,2	18185	305	13,22	695,6	38,3	109,3	2383,55	5
				152,2								
				152,1								
39	CRB.HCFM. C39	30-jul-14	27-ago-14	150,0	17684	301	12,62	698,2	39,5	112,8	2370,85	5
				149,9								
				150,2								
40	CRB.HCFM. C40	30-jul-14	27-ago-14	149,1	17507	300	12,22	692,8	39,6	113,1	2326,66	5
				149,0								
				149,7								
41	CRB.HCFM. C41	30-jul-14	27-ago-14	149,5	17650	301	12,30	694,3	39,3	112,4	2315,17	5
				150,2								
				150,1								
42	CRB.HCFM. C42	30-jul-14	27-ago-14	151,3	17955	304	13,24	693,5	38,6	110,4	2425,68	5
				150,9								
				151,4								
43	CRB.HCFM. C43	30-jul-14	27-ago-14	150,0	17698	299	12,42	697,2	39,4	112,6	2347,03	5
				150,1								
				150,2								
44	CRB.HCFM. C44	30-jul-14	27-ago-14	149,2	17583	299	12,14	698,1	39,7	113,4	2309,20	3
				149,8								
				149,9								
45	CRB.HCFM. C45	30-jul-14	27-ago-14	148,5	17386	300	12,06	678,0	39,0	111,4	2312,17	5
				148,6								
				149,3								
Promedio:									39,1	111,7		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.25. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica.

N°	Identificación viga	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Ancho (mm)	Ancho prom. (mm)	Altura (mm)	Altura prom. (mm)	Carga (N)	Módulo de rotura		Módulo de rotura requerido (MPa)
									MPa	%	
1	CRB.HCFM. V1	8-sep-14	6-oct-14	152	152,00	154	153,33	39100	4,92	117,4	4,19
				152		154					
				152		152					
2	CRB.HCFM. V2	8-sep-14	6-oct-14	152	152,00	153	153,00	41800	5,29	126,3	4,19
				152		153					
				152		153					
3	CRB.HCFM. V3	8-sep-14	6-oct-14	157	155,00	158	157,67	40200	4,69	111,9	4,19
				153		157					
				155		158					
4	CRB.HCFM. V4	8-sep-14	6-oct-14	152	152,00	158	157,00	39500	4,74	113,1	4,19
				152		156					
				152		157					
5	CRB.HCFM. V5	8-sep-14	6-oct-14	151	151,67	150	151,00	38400	5,00	119,3	4,19
				152		152					
				152		151					
6	CRB.HCFM. V6	8-sep-14	6-oct-14	153	152,67	158	155,67	42900	5,22	124,6	4,19
				152		155					
				153		154					
7	CRB.HCFM. V7	9-sep-14	7-oct-14	154	153,33	154	154,67	39500	4,85	115,8	4,19
				153		156					
				153		154					
8	CRB.HCFM. V8	9-sep-14	7-oct-14	153	152,67	155	154,00	43500	5,41	129,1	4,19
				153		155					
				152		152					
9	CRB.HCFM. V9	9-sep-14	7-oct-14	154	153,67	152	154,67	39500	4,84	115,5	4,19
				153		155					
				154		157					
10	CRB.HCFM. V10	9-sep-14	7-oct-14	152	153,33	159	158,33	39600	4,64	110,7	4,19
				153		158					
				155		158					
11	CRB.HCFM. V11	9-sep-14	7-oct-14	152	152,00	159	158,67	39700	4,67	111,5	4,19
				152		158					
				152		159					
12	CRB.HCFM. V12	9-sep-14	7-oct-14	152	152,33	157	155,33	43200	5,29	126,3	4,19
				152		155					
				153		154					
13	CRB.HCFM. V13	10-sep-14	8-oct-14	154	154,33	155	154,33	38600	4,73	112,9	4,19
				153		156					
				156		152					
14	CRB.HCFM. V14	10-sep-14	8-oct-14	152	152,33	158	158,67	39200	4,60	109,8	4,19
				152		159					
				153		159					
15	CRB.HCFM. V15	10-sep-14	8-oct-14	151	151,00	153	152,67	38700	4,95	118,1	4,19
				150		153					
				152		152					
Promedio:									4,92	117,5	

Fuente: El Autor.

RESULTADOS DE ESPECÍMENES ELABORADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS

HORMIGÓN SIN FIBRA

Tabla 8.26. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
1	CRM.HSF.C1	9-oct-14	16-oct-14	149,4	17646	296	11,90	415,2	23,5	67,2	2278,23	5
				150,0								
				150,3								
2	CRM.HSF.C2	9-oct-14	16-oct-14	146,3	17055	295	11,42	409,6	24,0	68,6	2269,77	1
				148,2								
				147,6								
3	CRM.HSF.C3	9-oct-14	16-oct-14	150,4	17786	299	12,20	412,8	23,2	66,3	2294,05	5
				150,7								
				150,3								
4	CRM.HSF.C4	9-oct-14	16-oct-14	152,4	18262	304	12,70	424,3	23,2	66,4	2287,64	2
				152,3								
				152,7								
5	CRM.HSF.C5	9-oct-14	16-oct-14	151,3	17860	300	12,24	418,4	23,4	66,9	2284,38	1
				150,2								
				150,9								
6	CRM.HSF.C6	9-oct-14	16-oct-14	150,5	17802	302	12,28	421,3	23,7	67,6	2284,10	1
				150,5								
				150,7								
7	CRM.HSF.C7	9-oct-14	16-oct-14	152,2	18029	300	12,18	402,7	22,3	63,8	2251,89	3
				151,3								
				151,1								
8	CRM.HSF.C8	9-oct-14	16-oct-14	149,3	17432	296	11,94	418,6	24,0	68,6	2314,03	3
				148,8								
				148,8								
9	CRM.HSF.C9	9-oct-14	16-oct-14	152,1	18183	304	12,74	419,0	23,0	65,8	2304,82	2
				152,0								
				152,4								
10	CRM.HSF.C10	9-oct-14	16-oct-14	150,9	17816	301	12,24	422,1	23,7	67,7	2282,43	3
				150,5								
				150,5								
Promedio:									23,4	66,9		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.27. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
11	CRM.HSF.C11	8-oct-14	22-oct-14	149,2	17547	301	12,22	494,2	28,2	80,5	2313,68	5
				149,6								
				149,6								
12	CRM.HSF.C12	8-oct-14	22-oct-14	151,4	17611	299	12,08	504,8	28,7	81,9	2294,15	5
				149,3								
				148,6								
13	CRM.HSF.C13	8-oct-14	22-oct-14	150,1	17696	301	12,18	496,2	28,0	80,1	2286,64	5
				150,0								
				150,2								
14	CRM.HSF.C14	8-oct-14	22-oct-14	152,1	18187	303	12,72	497,1	27,3	78,1	2308,28	5
				152,0								
				152,4								
15	CRM.HSF.C15	8-oct-14	22-oct-14	148,2	17297	300	11,82	492,2	28,5	81,3	2277,81	1
				148,5								
				148,5								
16	CRM.HSF.C16	8-oct-14	22-oct-14	149,9	17712	300	12,24	498,5	28,1	80,4	2303,48	2
				150,2								
				150,4								
17	CRM.HSF.C17	8-oct-14	22-oct-14	150,0	17517	296	11,92	506,3	28,9	82,6	2298,91	5
				149,3								
				148,7								
18	CRM.HSF.C18	8-oct-14	22-oct-14	150,1	17746	300	12,26	496,7	28,0	80,0	2302,83	5
				150,4								
				150,4								
19	CRM.HSF.C19	8-oct-14	22-oct-14	150,3	17874	300	12,28	505,4	28,3	80,8	2290,05	2
				150,9								
				151,4								
20	CRM.HSF.C20	8-oct-14	22-oct-14	150,1	17788	300	12,34	502,6	28,3	80,7	2312,38	2
				150,4								
				151,0								
Promedio:									28,2	80,6		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.28. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
21	CRM.HSF.C21	8-oct-14	5-nov-14	151,4	17642	300	12,10	636,9	36,1	103,1	2286,15	5
				149,4								
				148,9								
22	CRM.HSF.C22	8-oct-14	5-nov-14	150,6	17977	302	12,26	624,7	34,8	99,3	2258,23	5
				151,7								
				151,5								
23	CRM.HSF.C23	8-oct-14	5-nov-14	150,2	17720	298	12,34	620,6	35,0	100,1	2336,83	5
				150,3								
				150,1								
24	CRM.HSF.C24	8-oct-14	5-nov-14	150,3	17824	301	12,56	615,8	34,5	98,7	2341,05	3
				150,6								
				151,0								
25	CRM.HSF.C25	8-oct-14	5-nov-14	148,9	17523	296	12,16	622,4	35,5	101,5	2344,40	1
				149,7								
				149,5								
26	CRM.HSF.C26	8-oct-14	5-nov-14	151,8	18066	304	12,74	632,1	35,0	100,0	2319,77	5
				151,6								
				151,6								
27	CRM.HSF.C27	8-oct-14	5-nov-14	150,3	17718	302	12,32	624,6	35,3	100,7	2302,41	5
				150,1								
				150,2								
28	CRM.HSF.C28	8-oct-14	5-nov-14	152,2	17794	298	12,56	634,1	35,6	101,8	2368,61	3
				149,5								
				149,9								
29	CRM.HSF.C29	8-oct-14	5-nov-14	151,0	17850	301	12,34	630,2	35,3	100,9	2296,68	5
				150,5								
				150,7								
30	CRM.HSF.C30	8-oct-14	5-nov-14	152,0	18163	304	12,76	636,7	35,1	100,2	2311,01	5
				152,0								
				152,1								
31	CRM.HSF.C31	8-oct-14	5-nov-14	149,7	17547	299	12,02	636,4	36,3	103,6	2291,04	5
				149,2								
				149,5								
32	CRM.HSF.C32	8-oct-14	5-nov-14	148,7	17404	299	11,88	628,6	36,1	103,2	2282,94	5
				148,9								
				148,9								
33	CRM.HSF.C33	8-oct-14	5-nov-14	152,1	18148	305	12,84	629,6	34,7	99,1	2319,68	5
				151,8								
				152,0								

Fuente: El Autor.

Tabla 8.28. (Continuación) Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
34	CRM.HSF.C34	8-oct-14	5-nov-14	150,2	17794	302	12,26	625,9	35,2	100,5	2281,41	3
				151,0								
				150,3								
35	CRM.HSF.C35	8-oct-14	5-nov-14	151,8	18110	304	12,72	632,8	34,9	99,8	2310,45	5
				151,7								
				152,1								
36	CRM.HSF.C36	8-oct-14	5-nov-14	149,6	17629	300	12,28	623,2	35,4	101,0	2321,99	5
				150,0								
				149,8								
37	CRM.HSF.C37	8-oct-14	5-nov-14	149,3	17625	297	11,90	648,0	36,8	105,0	2273,38	5
				150,1								
				150,0								
38	CRM.HSF.C38	8-oct-14	5-nov-14	146,4	17034	296	11,44	633,3	37,2	106,2	2268,93	2
				148,1								
				147,4								
39	CRM.HSF.C39	8-oct-14	5-nov-14	153,4	18488	300	12,58	627,4	33,9	97,0	2268,19	5
				153,3								
				153,5								
40	CRM.HSF.C40	8-oct-14	5-nov-14	149,9	17724	302	12,32	621,7	35,1	100,2	2301,63	2
				150,4								
				150,3								
41	CRM.HSF.C41	8-oct-14	5-nov-14	150,3	17724	298	12,40	630,8	35,6	101,7	2347,67	5
				150,3								
				150,1								
42	CRM.HSF.C42	8-oct-14	5-nov-14	149,4	17625	297	11,90	627,5	35,6	101,7	2273,38	5
				150,1								
				149,9								
43	CRM.HSF.C43	8-oct-14	5-nov-14	149,0	17232	304	13,16	614,4	35,7	101,9	2512,12	3
				146,1								
				149,4								
44	CRM.HSF.C44	8-oct-14	5-nov-14	151,7	18021	299	12,94	624,2	34,6	99,0	2401,48	5
				151,8								
				151,0								
45	CRM.HSF.C45	8-oct-14	5-nov-14	150,0	17758	300	12,58	638,0	35,9	102,6	2361,34	5
				150,2								
				150,9								
Promedio:									35,4	101,2		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.29. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra.

N°	Identificación viga	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Ancho (mm)	Ancho prom. (mm)	Altura (mm)	Altura prom. (mm)	Carga (N)	Módulo de rotura		Módulo de rotura requerido (MPa)
									MPa	%	
1	CRM.HSF.V1	22-oct-14	19-nov-14	152	151,67	151	150,67	32800	4,29	102,4	4,19
				151		151					
				152		150					
2	CRM.HSF.V2	22-oct-14	19-nov-14	153	152,67	155	154,00	34700	4,31	102,9	4,19
				152		154					
				153		153					
3	CRM.HSF.V3	22-oct-14	19-nov-14	151	150,67	160	160,00	36700	4,28	102,1	4,19
				150		160					
				151		160					
4	CRM.HSF.V4	22-oct-14	19-nov-14	152	152,33	151	152,00	34700	4,44	106,0	4,19
				152		152					
				153		153					
5	CRM.HSF.V5	22-oct-14	19-nov-14	150	150,33	153	152,67	33400	4,29	102,4	4,19
				151		153					
				150		152					
6	CRM.HSF.V6	22-oct-14	19-nov-14	151	151,67	154	153,00	37500	4,75	113,4	4,19
				152		153					
				152		152					
7	CRM.HSF.V7	23-oct-14	20-nov-14	152	152,33	151	151,33	35000	4,51	107,6	4,19
				153		151					
				152		152					
8	CRM.HSF.V8	23-oct-14	20-nov-14	152	152,33	154	153,67	34400	4,30	102,6	4,19
				153		154					
				152		153					
9	CRM.HSF.V9	23-oct-14	20-nov-14	152	152,67	154	153,67	36100	4,51	107,6	4,19
				153		154					
				153		153					
10	CRM.HSF.V10	23-oct-14	20-nov-14	152	151,67	159	159,67	36800	4,28	102,1	4,19
				152		160					
				151		160					
11	CRM.HSF.V11	23-oct-14	20-nov-14	152	152,67	159	158,00	37000	4,37	104,3	4,19
				153		157					
				153		158					
12	CRM.HSF.V12	23-oct-14	20-nov-14	152	152,33	152	152,33	35200	4,48	106,9	4,19
				153		152					
				152		153					
13	CRM.HSF.V13	24-oct-14	21-nov-14	152	152,00	152	153,67	35600	4,46	106,4	4,19
				152		154					
				152		155					
14	CRM.HSF.V14	24-oct-14	21-nov-14	154	154,00	152	151,00	34600	4,43	105,7	4,19
				154		151					
				154		150					
15	CRM.HSF.V15	24-oct-14	21-nov-14	151	151,67	154	153,33	36800	4,64	110,7	4,19
				152		153					
				152		153					
Promedio:								4,42	105,6		

Fuente: El Autor.

HORMIGÓN CON FIBRA DE POLIPROPILENO

Tabla 8.30. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
1	CRM.HCFP.C1	17-oct-14	24-oct-14	150,1	17718	304	12,24	444,6	25,1	71,7	2272,41	3
				150,3								
				150,2								
2	CRM.HCFP.C2	17-oct-14	24-oct-14	152,5	18215	303	12,56	434,0	23,8	68,1	2275,70	3
				152,2								
				152,2								
3	CRM.HCFP.C3	17-oct-14	24-oct-14	152,3	18213	303	12,76	441,0	24,2	69,2	2312,19	5
				152,2								
				152,3								
4	CRM.HCFP.C4	17-oct-14	24-oct-14	148,9	17374	300	11,84	428,9	24,7	70,5	2271,54	5
				148,8								
				148,5								
5	CRM.HCFP.C5	17-oct-14	24-oct-14	150,3	17778	300	12,16	428,2	24,1	68,8	2279,94	5
				150,5								
				150,6								
6	CRM.HCFP.C6	17-oct-14	24-oct-14	149,4	17607	302	12,14	443,2	25,2	71,9	2283,16	2
				149,9								
				149,9								
7	CRM.HCFP.C7	17-oct-14	24-oct-14	152,0	18199	303	12,62	436,4	24,0	68,5	2288,61	5
				152,2								
				152,5								
8	CRM.HCFP.C8	17-oct-14	24-oct-14	148,7	17349	298	11,66	437,2	25,2	72,0	2255,36	5
				148,6								
				148,6								
9	CRM.HCFP.C9	17-oct-14	24-oct-14	150,9	17886	302	12,18	431,8	24,1	69,0	2254,84	5
				150,9								
				151,0								
10	CRM.HCFP.C10	17-oct-14	24-oct-14	150,7	17784	298	12,20	433,5	24,4	69,6	2302,01	5
				150,4								
				150,4								
Promedio:									24,5	69,9		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.31. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
11	CRM.HCFP.C11	13-oct-14	27-oct-14	152,2	18217	303	12,50	526,6	28,9	82,6	2264,58	2
				152,4								
				152,3								
12	CRM.HCFP.C12	13-oct-14	27-oct-14	149,8	17708	295	11,84	536,4	30,3	86,5	2266,48	5
				150,4								
				150,2								
13	CRM.HCFP.C13	13-oct-14	27-oct-14	151,7	18088	301	12,46	528,6	29,2	83,5	2288,58	5
				151,9								
				151,6								
14	CRM.HCFP.C14	13-oct-14	27-oct-14	153,1	18185	297	12,10	522,4	28,7	82,1	2240,38	5
				152,0								
				151,4								
15	CRM.HCFP.C15	13-oct-14	27-oct-14	150,7	17937	300	12,16	533,1	29,7	84,9	2259,80	5
				151,3								
				151,3								
16	CRM.HCFP.C16	13-oct-14	27-oct-14	150,1	17726	302	12,24	542,9	30,6	87,5	2286,42	5
				150,3								
				150,2								
17	CRM.HCFP.C17	13-oct-14	27-oct-14	152,3	18179	303	12,60	521,6	28,7	82,0	2287,52	2
				152,1								
				152,0								
18	CRM.HCFP.C18	13-oct-14	27-oct-14	149,0	17444	298	11,64	537,5	30,8	88,0	2239,23	5
				149,1								
				149,0								
19	CRM.HCFP.C19	13-oct-14	27-oct-14	150,0	17742	301	12,10	520,6	29,3	83,8	2265,74	2
				150,4								
				150,5								
20	CRM.HCFP.C20	13-oct-14	27-oct-14	151,4	17923	298	12,20	524,9	29,3	83,7	2284,24	5
				151,0								
				150,7								
Promedio:									29,6	84,5		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.32. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
21	CRM.HCFP.C21	14-oct-14	11-nov-14	150,1	17589	298	11,76	664,8	37,8	108,0	2243,66	5
				149,3								
				149,5								
22	CRM.HCFP.C22	14-oct-14	11-nov-14	150,7	17842	303	12,30	683,4	38,3	109,4	2275,15	5
				150,7								
				150,8								
23	CRM.HCFP.C23	14-oct-14	11-nov-14	150,0	17539	296	11,70	676,8	38,6	110,3	2253,67	3
				149,2								
				149,1								
24	CRM.HCFP.C24	14-oct-14	11-nov-14	149,6	17635	302	12,02	679,7	38,5	110,1	2257,01	1
				150,0								
				149,9								
25	CRM.HCFP.C25	14-oct-14	11-nov-14	152,2	17826	298	11,92	673,7	37,8	108,0	2243,87	5
				150,3								
				149,5								
26	CRM.HCFP.C26	14-oct-14	11-nov-14	146,6	17116	294	11,38	675,2	39,4	112,7	2261,45	5
				148,5								
				147,8								
27	CRM.HCFP.C27	14-oct-14	11-nov-14	151,7	18051	304	13,04	683,8	37,9	108,2	2376,25	3
				151,6								
				151,5								
28	CRM.HCFP.C28	14-oct-14	11-nov-14	152,0	18118	303	12,64	681,1	37,6	107,4	2302,47	5
				151,8								
				151,8								
29	CRM.HCFP.C29	14-oct-14	11-nov-14	152,8	18102	298	12,12	682,2	37,7	107,7	2246,79	5
				151,4								
				151,3								
30	CRM.HCFP.C30	14-oct-14	11-nov-14	150,4	17848	302	12,28	684,6	38,4	109,6	2278,20	5
				150,9								
				151,0								
31	CRM.HCFP.C31	14-oct-14	11-nov-14	150,5	17768	304	12,76	678,0	38,2	109,0	2362,28	5
				150,3								
				150,4								
32	CRM.HCFP.C32	14-oct-14	11-nov-14	150,1	17728	298	12,26	685,6	38,7	110,5	2320,64	2
				150,3								
				150,3								
33	CRM.HCFP.C33	14-oct-14	11-nov-14	152,7	18304	298	12,32	690,6	37,7	107,8	2258,60	5
				152,6								
				152,7								

Fuente: El Autor.

Tabla 8.32. (Continuación) Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
34	CRM.HCFP.C34	14-oct-14	11-nov-14	152,0	18199	303	12,68	688,7	37,8	108,1	2299,49	2
				152,1								
				152,5								
35	CRM.HCFP.C35	14-oct-14	11-nov-14	151,6	17706	299	12,04	684,3	38,6	110,4	2274,19	5
				149,7								
				149,1								
36	CRM.HCFP.C36	14-oct-14	11-nov-14	150,2	17776	300	12,12	679,7	38,2	109,2	2272,69	5
				150,5								
				150,6								
37	CRM.HCFP.C37	14-oct-14	11-nov-14	149,5	17593	300	12,20	674,1	38,3	109,5	2311,57	5
				149,6								
				149,9								
38	CRM.HCFP.C38	14-oct-14	11-nov-14	147,5	17140	299	12,22	654,2	38,2	109,1	2384,48	5
				148,0								
				147,6								
39	CRM.HCFP.C39	14-oct-14	11-nov-14	149,7	17509	296	11,90	665,8	38,0	108,6	2296,09	5
				149,3								
				148,9								
40	CRM.HCFP.C40	14-oct-14	11-nov-14	152,4	18233	302	12,66	687,6	37,7	107,7	2299,11	5
				152,2								
				152,5								
41	CRM.HCFP.C41	14-oct-14	11-nov-14	149,6	17527	298	11,92	678,8	38,7	110,7	2282,19	5
				149,3								
				149,3								
42	CRM.HCFP.C42	14-oct-14	11-nov-14	151,0	17852	302	12,34	678,3	38,0	108,6	2288,82	5
				150,9								
				150,4								
43	CRM.HCFP.C43	14-oct-14	11-nov-14	149,2	17458	301	12,32	665,2	38,1	108,9	2344,55	5
				148,9								
				149,1								
44	CRM.HCFP.C44	14-oct-14	11-nov-14	150,5	17834	304	12,34	682,7	38,3	109,4	2276,06	5
				150,8								
				150,7								
45	CRM.HCFP.C45	14-oct-14	11-nov-14	150,6	17814	300	12,20	679,1	38,1	108,9	2282,81	2
				150,7								
				150,5								
Promedio:									38,2	109,1		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.33. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno.

N°	Identificación viga	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Ancho (mm)	Ancho prom. (mm)	Altura (mm)	Altura prom. (mm)	Carga (N)	Módulo de rotura		Módulo de rotura requerido (MPa)
									MPa	%	
1	CRM.HCFP.V1	25-oct-14	22-nov-14	152	152,00	159	159,67	40600	4,71	112,4	4,19
				152		160					
				152		160					
2	CRM.HCFP.V2	25-oct-14	22-nov-14	151	151,33	154	153,67	37500	4,72	112,6	4,19
				151		154					
				152		153					
3	CRM.HCFP.V3	25-oct-14	22-nov-14	152	152,00	154	153,33	38200	4,81	114,8	4,19
				152		153					
				152		153					
4	CRM.HCFP.V4	25-oct-14	22-nov-14	154	153,33	155	153,67	37000	4,60	109,8	4,19
				154		154					
				152		152					
5	CRM.HCFP.V5	25-oct-14	22-nov-14	151	151,67	160	160,00	37700	4,37	104,3	4,19
				152		160					
				152		160					
6	CRM.HCFP.V6	25-oct-14	22-nov-14	152	152,67	152	151,33	37500	4,83	115,3	4,19
				153		152					
				153		150					
7	CRM.HCFP.V7	26-oct-14	23-nov-14	151	151,67	151	150,33	37200	4,88	116,5	4,19
				152		150					
				152		150					
8	CRM.HCFP.V8	26-oct-14	23-nov-14	153	153,67	152	153,00	37200	4,65	111,0	4,19
				154		153					
				154		154					
9	CRM.HCFP.V9	26-oct-14	23-nov-14	152	152,00	152	153,67	36600	4,59	109,5	4,19
				152		154					
				152		155					
10	CRM.HCFP.V10	26-oct-14	23-nov-14	152	151,67	160	160,33	38900	4,49	107,2	4,19
				152		160					
				151		161					
11	CRM.HCFP.V11	26-oct-14	23-nov-14	154	153,67	153	153,33	37500	4,67	111,5	4,19
				153		154					
				154		153					
12	CRM.HCFP.V12	26-oct-14	23-nov-14	151	151,67	158	159,33	38100	4,45	106,2	4,19
				152		160					
				152		160					
13	CRM.HCFP.V13	27-oct-14	24-nov-14	153	152,00	154	153,67	38400	4,81	114,8	4,19
				152		153					
				151		154					
14	CRM.HCFP.V14	27-oct-14	24-nov-14	151	150,67	153	153,00	37800	4,82	115,0	4,19
				150		152					
				151		154					
15	CRM.HCFP.V15	27-oct-14	24-nov-14	152	152,00	153	153,33	38100	4,80	114,6	4,19
				152		153					
				152		154					
Promedio:									4,68	111,7	

Fuente: El Autor.

HORMIGÓN CON FIBRA METÁLICA

Tabla 8.34. Resistencia a la compresión a los 7 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
1	CRM.HCFM.C1	3-nov-14	10-nov-14	152,5	18150	298	12,36	464,5	25,6	73,1	2285,16	5
				152,1								
				151,4								
2	CRM.HCFM.C2	3-nov-14	10-nov-14	153,0	18367	299	12,74	468,2	25,5	72,8	2319,81	2
				152,9								
				152,9								
3	CRM.HCFM.C3	3-nov-14	10-nov-14	150,6	17662	300	12,28	463,3	26,2	74,9	2317,54	5
				150,0								
				149,2								
4	CRM.HCFM.C4	3-nov-14	10-nov-14	151,9	18177	304	12,98	472,0	26,0	74,2	2349,02	5
				152,3								
				152,2								
5	CRM.HCFM.C5	3-nov-14	10-nov-14	150,4	17748	299	12,58	463,8	26,1	74,7	2370,57	2
				150,3								
				150,2								
6	CRM.HCFM.C6	3-nov-14	10-nov-14	152,2	18211	303	12,96	475,5	26,1	74,6	2348,70	5
				152,2								
				152,5								
7	CRM.HCFM.C7	3-nov-14	10-nov-14	149,1	17591	300	12,38	460,5	26,2	74,8	2345,94	5
				149,7								
				150,1								
8	CRM.HCFM.C8	3-nov-14	10-nov-14	149,8	17658	296	12,06	453,4	25,7	73,4	2307,30	5
				150,0								
				150,0								
9	CRM.HCFM.C9	3-nov-14	10-nov-14	149,2	17446	299	12,06	459,2	26,3	75,2	2312,00	5
				148,9								
				149,0								
10	CRM.HCFM.C10	3-nov-14	10-nov-14	150,4	17722	302	12,76	464,6	26,2	74,9	2384,10	3
				149,8								
				150,5								
Promedio:									26,0	74,3		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.35. Resistencia a la compresión a los 14 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
11	CRM.HCFM.C11	2-nov-14	16-nov-14	152,4	18195	303	12,98	565,2	31,1	88,8	2354,41	5
				152,1								
				152,1								
12	CRM.HCFM.C12	2-nov-14	16-nov-14	150,4	17784	301	12,44	560,1	31,5	90,0	2323,90	5
				150,7								
				150,3								
13	CRM.HCFM.C13	2-nov-14	16-nov-14	150,1	17690	296	12,12	558,8	31,6	90,3	2314,59	5
				150,1								
				150,0								
14	CRM.HCFM.C14	2-nov-14	16-nov-14	150,1	17750	300	12,40	563,8	31,8	90,8	2328,60	5
				150,5								
				150,4								
15	CRM.HCFM.C15	2-nov-14	16-nov-14	153,7	18569	298	12,72	558,7	30,1	86,0	2298,67	5
				153,8								
				153,8								
16	CRM.HCFM.C16	2-nov-14	16-nov-14	150,8	17625	300	12,22	561,9	31,9	91,1	2311,17	5
				149,4								
				149,2								
17	CRM.HCFM.C17	2-nov-14	16-nov-14	152,1	18173	304	12,14	560,6	30,8	88,1	2197,49	1
				152,1								
				152,1								
18	CRM.HCFM.C18	2-nov-14	16-nov-14	149,6	17593	301	12,54	564,6	32,1	91,7	2368,09	5
				149,7								
				149,7								
19	CRM.HCFM.C19	2-nov-14	16-nov-14	151,1	17979	300	12,32	552,7	30,7	87,8	2284,15	5
				151,4								
				151,4								
20	CRM.HCFM.C20	2-nov-14	16-nov-14	151,0	17943	300	12,42	558,6	31,1	88,9	2307,34	2
				151,3								
				151,2								
Promedio:									31,3	89,3		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.36. Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
21	CRM.HCFM.C21	1-nov-14	29-nov-14	152,2	18185	302	13,00	710,6	39,1	111,6	2367,17	5
				152,1								
				152,1								
22	CRM.HCFM.C22	1-nov-14	29-nov-14	149,5	17619	299	12,46	699,1	39,7	113,4	2365,25	5
				149,9								
				150,0								
23	CRM.HCFM.C23	1-nov-14	29-nov-14	150,4	17838	300	12,50	706,1	39,6	113,1	2335,79	5
				150,9								
				150,8								
24	CRM.HCFM.C24	1-nov-14	29-nov-14	151,5	17987	298	12,82	708,4	39,4	112,5	2391,74	5
				151,3								
				151,2								
25	CRM.HCFM.C25	1-nov-14	29-nov-14	151,1	17609	298	12,28	713,6	40,5	115,8	2340,22	5
				149,0								
				149,1								
26	CRM.HCFM.C26	1-nov-14	29-nov-14	152,3	17969	297	12,42	706,2	39,3	112,3	2327,26	5
				150,8								
				150,6								
27	CRM.HCFM.C27	1-nov-14	29-nov-14	149,8	17642	302	12,54	709,2	40,2	114,9	2353,59	3
				149,8								
				150,0								
28	CRM.HCFM.C28	1-nov-14	29-nov-14	150,1	17692	305	13,08	704,4	39,8	113,8	2423,94	3
				150,2								
				150,0								
29	CRM.HCFM.C29	1-nov-14	29-nov-14	148,6	17309	300	12,12	730,2	42,2	120,5	2334,02	5
				148,3								
				148,4								
30	CRM.HCFM.C30	1-nov-14	29-nov-14	149,1	17529	304	12,98	720,1	41,1	117,4	2435,81	1
				149,6								
				149,5								
31	CRM.HCFM.C31	1-nov-14	29-nov-14	149,3	17543	301	12,44	702,4	40,0	114,4	2355,87	5
				149,5								
				149,6								
32	CRM.HCFM.C32	1-nov-14	29-nov-14	149,7	17430	297	12,10	718,9	41,2	117,8	2337,41	5
				148,7								
				148,5								
33	CRM.HCFM.C33	1-nov-14	29-nov-14	150,2	17732	304	12,52	712,5	40,2	114,8	2322,56	5
				150,3								
				150,2								

Fuente: El Autor.

Tabla 8.36. (Continuación) Resistencia a la compresión a los 28 días de edad de probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica y diseñadas para $f'_c = 35$ MPa.

N°	Identificación Probeta	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	D (mm)	Sección mm ²	L (mm)	Peso (kg)	Carga (kN)	Resistencia		Densidad (kg/m ³)	Tipo de falla
									MPa	%		
34	CRM.HCFM.C34	1-nov-14	29-nov-14	149,1	17418	300	12,26	711,0	40,8	116,6	2346,24	5
				148,7								
				148,9								
35	CRM.HCFM.C35	1-nov-14	29-nov-14	150,2	17762	298	12,60	708,1	39,9	113,9	2380,43	5
				150,3								
				150,6								
36	CRM.HCFM.C36	1-nov-14	29-nov-14	149,6	17633	295	12,14	697,6	39,6	113,0	2333,90	5
				149,9								
				150,0								
37	CRM.HCFM.C37	1-nov-14	29-nov-14	149,6	17414	298	12,34	723,2	41,5	118,7	2377,94	5
				148,8								
				148,3								
38	CRM.HCFM.C38	1-nov-14	29-nov-14	150,6	17804	301	12,64	712,3	40,0	114,3	2358,61	3
				150,6								
				150,4								
39	CRM.HCFM.C39	1-nov-14	29-nov-14	150,2	17670	302	12,66	708,7	40,1	114,6	2372,36	5
				150,1								
				149,8								
40	CRM.HCFM.C40	1-nov-14	29-nov-14	150,3	17776	299	12,54	695,8	39,1	111,8	2359,31	5
				150,5								
				150,5								
41	CRM.HCFM.C41	1-nov-14	29-nov-14	149,4	17515	300	12,24	698,9	39,9	114,0	2329,41	5
				149,2								
				149,5								
42	CRM.HCFM.C42	1-nov-14	29-nov-14	149,6	17638	300	12,48	706,1	40,0	114,4	2358,48	5
				149,9								
				150,1								
43	CRM.HCFM.C43	1-nov-14	29-nov-14	152,3	18262	302	13,04	715,4	39,2	111,9	2364,44	5
				152,5								
				152,7								
44	CRM.HCFM.C44	1-nov-14	29-nov-14	152,7	18231	297	12,42	722,2	39,6	113,2	2293,75	2
				153,0								
				151,4								
45	CRM.HCFM.C45	1-nov-14	29-nov-14	148,8	17384	300	12,14	711,3	40,9	116,9	2327,77	5
				148,7								
				148,7								
Promedio:									40,1	114,6		

Fuente: El Autor.

Tabla 8.37. Resistencia a la flexión a los 28 días de edad de vigas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica.

N°	Identificación viga	Fecha de Moldeo	Fecha de rotura	Ancho (mm)	Ancho prom. (mm)	Altura (mm)	Altura prom. (mm)	Carga (N)	Módulo de rotura		Módulo de rotura requerido (MPa)
									MPa	%	
1	CRM.HCFM.V1	18-nov-14	16-dic-14	151	152,67	151	151,33	46300	5,96	142,2	4,19
				154		152					
				153		151					
2	CRM.HCFM.V2	18-nov-14	16-dic-14	150	151,67	150	150,67	42300	5,53	132,0	4,19
				152		151					
				153		151					
3	CRM.HCFM.V3	18-nov-14	16-dic-14	151	152,00	160	159,33	47200	5,50	131,3	4,19
				153		159					
				152		159					
4	CRM.HCFM.V4	18-nov-14	16-dic-14	151	152,00	153	152,33	45400	5,79	138,2	4,19
				153		152					
				152		152					
5	CRM.HCFM.V5	18-nov-14	16-dic-14	150	150,67	152	151,00	44100	5,78	137,9	4,19
				151		151					
				151		150					
6	CRM.HCFM.V6	18-nov-14	16-dic-14	152	151,67	160	159,33	46200	5,40	128,9	4,19
				151		159					
				152		159					
7	CRM.HCFM.V7	19-nov-14	17-dic-14	150	152,00	157	156,33	45300	5,49	131,0	4,19
				154		156					
				152		156					
8	CRM.HCFM.V8	19-nov-14	17-dic-14	152	151,67	151	152,33	44900	5,74	137,0	4,19
				152		153					
				151		153					
9	CRM.HCFM.V9	19-nov-14	17-dic-14	154	154,67	155	154,33	46200	5,64	134,6	4,19
				155		155					
				155		153					
10	CRM.HCFM.V10	19-nov-14	17-dic-14	153	153,33	158	157,00	44100	5,25	125,3	4,19
				154		156					
				153		157					
11	CRM.HCFM.V11	19-nov-14	17-dic-14	150	150,67	150	152,67	42600	5,46	130,3	4,19
				152		155					
				150		153					
12	CRM.HCFM.V12	19-nov-14	17-dic-14	151	150,67	156	154,67	44400	5,54	132,2	4,19
				150		154					
				151		154					
13	CRM.HCFM.V13	20-nov-14	18-dic-14	152	152,00	155	154,67	44800	5,54	132,2	4,19
				153		154					
				151		155					
14	CRM.HCFM.V14	20-nov-14	18-dic-14	150	150,33	153	152,33	45100	5,82	138,9	4,19
				150		152					
				151		152					
15	CRM.HCFM.V15	20-nov-14	18-dic-14	152	152,67	155	156,00	44700	5,41	129,1	4,19
				152		157					
				154		156					
Promedio:									5,59	133,4	

Fuente: El Autor.

ANEXO V. CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

- RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN
- RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS

RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO BOQUERÓN

Tabla 8.38. Determinación de la resistencia característica del hormigón (f'_{cr}) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón sin fibra.

N°	Identificación Probeta	Resistencia obtenida (f'_{ci})			$(f'_{ci} - f'_{cm})$	$(f'_{ci} - f'_{cm})^2$
		MPa	kgf/cm ²	%		
1	CRB.HSF.C21	35,5	354,72	101,35	-1,92	3,69
2	CRB.HSF.C22	35,1	351,25	100,36	-5,39	29,10
3	CRB.HSF.C23	34,4	343,81	98,23	-12,84	164,84
4	CRB.HSF.C24	35,5	355,07	101,45	-1,58	2,48
5	CRB.HSF.C25	35,6	356,19	101,77	-0,46	0,21
6	CRB.HSF.C26	34,3	343,14	98,04	-13,51	182,52
7	CRB.HSF.C27	35,1	350,95	100,27	-5,69	32,41
8	CRB.HSF.C28	37,5	375,11	107,17	18,46	340,84
9	CRB.HSF.C29	34,5	345,29	98,66	-11,35	128,85
10	CRB.HSF.C30	35,0	350,43	100,12	-6,21	38,58
11	CRB.HSF.C31	35,5	355,02	101,43	-1,63	2,65
12	CRB.HSF.C32	36,7	367,19	104,91	10,55	111,21
13	CRB.HSF.C33	36,0	360,39	102,97	3,74	13,98
14	CRB.HSF.C34	36,2	362,27	103,51	5,62	31,64
15	CRB.HSF.C35	35,2	352,05	100,58	-4,60	21,17
16	CRB.HSF.C36	36,0	360,50	103,00	3,85	14,84
17	CRB.HSF.C37	35,7	357,39	102,11	0,74	0,55
18	CRB.HSF.C38	35,9	359,41	102,69	2,76	7,64
19	CRB.HSF.C39	35,9	358,83	102,52	2,18	4,75
20	CRB.HSF.C40	36,2	361,63	103,32	4,98	24,84
21	CRB.HSF.C41	36,8	367,89	105,11	11,25	126,51
22	CRB.HSF.C42	36,0	360,38	102,97	3,73	13,92
23	CRB.HSF.C43	35,6	355,71	101,63	-0,94	0,88
24	CRB.HSF.C44	35,4	353,74	101,07	-2,91	8,45
25	CRB.HSF.C45	35,8	357,80	102,23	1,15	1,33
		$f'_{cm} = 356,65$			$\Sigma =$	1307,91
Datos		$f'_c = 350$			$s =$	7,38
		$n = 25$			$\delta =$	1,03
Ecuaciones resistencia característica		$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s$			$f'_{cr} (1) =$	360,19
		$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 35$			$f'_{cr} (2) =$	332,72

Fuente: El Autor.

Tabla 8.39. Determinación de la resistencia característica del hormigón (f'_{cr}) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra de polipropileno.

N°	Identificación Probeta	Resistencia obtenida (f'_{ci})			$(f'_{ci} - f'_{cm})$	$(f'_{ci} - f'_{cm})^2$
		MPa	kgf/cm ²	%		
1	CRB.HCFP.C21	38,4	383,97	109,71	13,36	178,55
2	CRB.HCFP.C22	37,8	377,57	107,88	6,96	48,46
3	CRB.HCFP.C23	37,2	372,29	106,37	1,68	2,82
4	CRB.HCFP.C24	36,1	360,55	103,01	-10,06	101,17
5	CRB.HCFP.C25	38,9	389,22	111,20	18,61	346,17
6	CRB.HCFP.C26	36,0	359,90	102,83	-10,71	114,70
7	CRB.HCFP.C27	35,9	358,86	102,53	-11,75	138,01
8	CRB.HCFP.C28	36,8	367,92	105,12	-2,69	7,24
9	CRB.HCFP.C29	37,2	371,86	106,24	1,25	1,55
10	CRB.HCFP.C30	36,9	368,76	105,36	-1,85	3,42
11	CRB.HCFP.C31	37,1	370,58	105,88	-0,03	0,00
12	CRB.HCFP.C32	36,5	365,21	104,35	-5,39	29,11
13	CRB.HCFP.C33	37,9	378,83	108,24	8,22	67,59
14	CRB.HCFP.C34	36,0	360,14	102,90	-10,47	109,62
15	CRB.HCFP.C35	36,9	369,10	105,46	-1,51	2,27
16	CRB.HCFP.C36	36,6	366,42	104,69	-4,19	17,52
17	CRB.HCFP.C37	37,2	372,22	106,35	1,61	2,60
18	CRB.HCFP.C38	36,5	365,32	104,38	-5,29	28,03
19	CRB.HCFP.C39	36,6	366,35	104,67	-4,26	18,17
20	CRB.HCFP.C40	38,5	384,59	109,88	13,98	195,50
21	CRB.HCFP.C41	36,5	364,94	104,27	-5,67	32,17
22	CRB.HCFP.C42	36,8	367,76	105,07	-2,85	8,14
23	CRB.HCFP.C43	37,5	375,49	107,28	4,88	23,79
24	CRB.HCFP.C44	37,2	372,45	106,41	1,84	3,38
25	CRB.HCFP.C45	37,5	374,95	107,13	4,34	18,87
		$f'_{cm} =$	370,61		$\Sigma =$	1498,87
Datos		$f'_c =$	350		$s =$	7,90
		$n =$	25		$\delta =$	1,03
Ecuaciones resistencia característica		$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s$			$f'_{cr} (1) =$	360,91
		$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 35$			$f'_{cr} (2) =$	333,97

Fuente: El Autor.

Tabla 8.40. Determinación de la resistencia característica del hormigón (f'_{cr}) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Boquerón con fibra metálica.

N°	Identificación Probeta	Resistencia obtenida (f'_{ci})			$(f'_{ci} - f'_{cm})$	$(f'_{ci} - f'_{cm})^2$
		MPa	kgf/cm ²	%		
1	CRB.HCFM.C21	38,9	388,62	111,04	-2,35	5,52
2	CRB.HCFM.C22	39,1	391,48	111,85	0,50	0,25
3	CRB.HCFM.C23	39,6	396,28	113,22	5,31	28,17
4	CRB.HCFM.C24	39,7	397,46	113,56	6,48	42,03
5	CRB.HCFM.C25	42,3	423,28	120,94	32,31	1044,04
6	CRB.HCFM.C26	38,5	385,42	110,12	-5,55	30,83
7	CRB.HCFM.C27	38,8	387,77	110,79	-3,20	10,23
8	CRB.HCFM.C28	38,6	385,96	110,27	-5,02	25,16
9	CRB.HCFM.C29	38,9	388,99	111,14	-1,98	3,93
10	CRB.HCFM.C30	38,9	389,22	111,21	-1,75	3,08
11	CRB.HCFM.C31	39,5	395,25	112,93	4,28	18,30
12	CRB.HCFM.C32	40,4	404,09	115,45	13,12	172,01
13	CRB.HCFM.C33	37,6	375,67	107,34	-15,30	234,06
14	CRB.HCFM.C34	38,3	382,57	109,31	-8,40	70,58
15	CRB.HCFM.C35	38,8	387,85	110,81	-3,12	9,76
16	CRB.HCFM.C36	37,5	374,98	107,14	-16,00	255,90
17	CRB.HCFM.C37	38,6	385,86	110,24	-5,12	26,19
18	CRB.HCFM.C38	38,3	382,52	109,29	-8,46	71,49
19	CRB.HCFM.C39	39,5	394,81	112,80	3,84	14,74
20	CRB.HCFM.C40	39,6	395,70	113,06	4,73	22,34
21	CRB.HCFM.C41	39,3	393,35	112,39	2,38	5,65
22	CRB.HCFM.C42	38,6	386,25	110,36	-4,73	22,33
23	CRB.HCFM.C43	39,4	393,94	112,55	2,97	8,81
24	CRB.HCFM.C44	39,7	397,04	113,44	6,06	36,77
25	CRB.HCFM.C45	39,0	389,97	111,42	-1,00	1,00
		$f'_{cm} =$	390,97		$\Sigma =$	2163,19
Datos		$f'_c =$	350		$s =$	9,49
		$n =$	25		$\delta =$	1,03
Ecuaciones resistencia característica			$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s$		$f'_{cr} (1) =$	363,10
			$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 35$		$f'_{cr} (2) =$	337,78

Fuente: El Autor.

RESULTADOS CON AGREGADOS DE LA CANTERA RÍO MALACATOS

Tabla 8.41. Determinación de la resistencia característica del hormigón (f'_{cr}) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos sin fibra.

N°	Identificación Probeta	Resistencia obtenida (f'_{ci})			$(f'_{ci} - f'_{cm})$	$(f'_{ci} - f'_{cm})^2$
		MPa	kgf/cm ²	%		
1	CRM.HSF.C21	36,1	361,00	103,14	6,97	48,54
2	CRM.HSF.C22	34,8	347,50	99,29	-6,54	42,71
3	CRM.HSF.C23	35,0	350,22	100,06	-3,82	14,57
4	CRM.HSF.C24	34,5	345,48	98,71	-8,55	73,17
5	CRM.HSF.C25	35,5	355,19	101,48	1,15	1,33
6	CRM.HSF.C26	35,0	349,89	99,97	-4,14	17,18
7	CRM.HSF.C27	35,3	352,52	100,72	-1,52	2,31
8	CRM.HSF.C28	35,6	356,35	101,81	2,31	5,35
9	CRM.HSF.C29	35,3	353,05	100,87	-0,99	0,98
10	CRM.HSF.C30	35,1	350,56	100,16	-3,48	12,11
11	CRM.HSF.C31	36,3	362,68	103,62	8,65	74,79
12	CRM.HSF.C32	36,1	361,18	103,19	7,14	51,02
13	CRM.HSF.C33	34,7	346,92	99,12	-7,12	50,67
14	CRM.HSF.C34	35,2	351,74	100,50	-2,29	5,27
15	CRM.HSF.C35	34,9	349,42	99,83	-4,62	21,31
16	CRM.HSF.C36	35,4	353,52	101,01	-0,52	0,27
17	CRM.HSF.C37	36,8	367,67	105,05	13,63	185,85
18	CRM.HSF.C38	37,2	371,79	106,23	17,75	315,12
19	CRM.HSF.C39	33,9	339,36	96,96	-14,67	215,30
20	CRM.HSF.C40	35,1	350,76	100,22	-3,28	10,73
21	CRM.HSF.C41	35,6	355,90	101,68	1,86	3,46
22	CRM.HSF.C42	35,6	356,04	101,73	2,00	4,00
23	CRM.HSF.C43	35,7	356,54	101,87	2,50	6,27
24	CRM.HSF.C44	34,6	346,37	98,96	-7,67	58,78
25	CRM.HSF.C45	35,9	359,27	102,65	5,23	27,38
		$f'_{cm} =$	354,04		$\Sigma =$	1248,44
Datos		$f'_c =$	350		$s =$	7,21
		$n =$	25		$\delta =$	1,03
Ecuaciones resistencia característica			$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s$		$f'_{cr} (1) =$	359,95
			$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 35$		$f'_{cr} (2) =$	332,31

Fuente: El Autor.

Tabla 8.42. Determinación de la resistencia característica del hormigón (f'_{cr}) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra de polipropileno.

N°	Identificación Probeta	Resistencia obtenida (f'_{ci})			$(f'_{ci} - f'_{cm})$	$(f'_{ci} - f'_{cm})^2$
		MPa	kgf/cm ²	%		
1	CRM.HCFP.C21	37,8	377,97	107,99	-3,92	15,36
2	CRM.HCFP.C22	38,3	383,02	109,43	1,13	1,28
3	CRM.HCFP.C23	38,6	385,88	110,25	3,99	15,95
4	CRM.HCFP.C24	38,5	385,44	110,13	3,55	12,59
5	CRM.HCFP.C25	37,8	377,92	107,98	-3,97	15,73
6	CRM.HCFP.C26	39,4	394,48	112,71	12,59	158,49
7	CRM.HCFP.C27	37,9	378,81	108,23	-3,08	9,51
8	CRM.HCFP.C28	37,6	375,92	107,41	-5,97	35,59
9	CRM.HCFP.C29	37,7	376,87	107,68	-5,02	25,23
10	CRM.HCFP.C30	38,4	383,56	109,59	1,67	2,80
11	CRM.HCFP.C31	38,2	381,58	109,02	-0,31	0,10
12	CRM.HCFP.C32	38,7	386,73	110,49	4,84	23,40
13	CRM.HCFP.C33	37,7	377,29	107,80	-4,60	21,18
14	CRM.HCFP.C34	37,8	378,43	108,12	-3,46	11,98
15	CRM.HCFP.C35	38,6	386,47	110,42	4,58	21,00
16	CRM.HCFP.C36	38,2	382,36	109,25	0,47	0,22
17	CRM.HCFP.C37	38,3	383,17	109,48	1,28	1,64
18	CRM.HCFP.C38	38,2	381,68	109,05	-0,21	0,04
19	CRM.HCFP.C39	38,0	380,26	108,65	-1,63	2,66
20	CRM.HCFP.C40	37,7	377,11	107,75	-4,78	22,84
21	CRM.HCFP.C41	38,7	387,29	110,65	5,40	29,13
22	CRM.HCFP.C42	38,0	379,95	108,56	-1,94	3,77
23	CRM.HCFP.C43	38,1	381,04	108,87	-0,85	0,73
24	CRM.HCFP.C44	38,3	382,80	109,37	0,91	0,83
25	CRM.HCFP.C45	38,1	381,21	108,92	-0,68	0,46
		$f'_{cm} =$	381,89		$\Sigma =$	432,51
Datos		$f'_c =$	350		$s =$	4,25
		$n =$	25		$\delta =$	1,03
Ecuaciones resistencia característica		$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s$			$f'_{cr} (1) =$	355,86
		$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 35$			$f'_{cr} (2) =$	325,19

Fuente: El Autor.

Tabla 8.43. Determinación de la resistencia característica del hormigón (f'_{cr}) en probetas cilíndricas elaboradas con agregados de la cantera río Malacatos con fibra metálica.

N°	Identificación Probeta	Resistencia obtenida (f'_{ci})			$(f'_{ci} - f'_{cm})$	$(f'_{ci} - f'_{cm})^2$
		MPa	kgf/cm ²	%		
1	CRM.HCFM.C21	39,1	390,77	111,65	-10,42	108,58
2	CRM.HCFM.C22	39,7	396,80	113,37	-4,39	19,27
3	CRM.HCFM.C23	39,6	395,83	113,09	-5,35	28,67
4	CRM.HCFM.C24	39,4	393,84	112,53	-7,35	53,97
5	CRM.HCFM.C25	40,5	405,26	115,79	4,07	16,56
6	CRM.HCFM.C26	39,3	393,01	112,29	-8,17	66,81
7	CRM.HCFM.C27	40,2	401,98	114,85	0,80	0,64
8	CRM.HCFM.C28	39,8	398,14	113,75	-3,05	9,29
9	CRM.HCFM.C29	42,2	421,86	120,53	20,67	427,25
10	CRM.HCFM.C30	41,1	410,80	117,37	9,62	92,49
11	CRM.HCFM.C31	40,0	400,39	114,40	-0,80	0,64
12	CRM.HCFM.C32	41,2	412,45	117,84	11,27	126,94
13	CRM.HCFM.C33	40,2	401,81	114,80	0,62	0,39
14	CRM.HCFM.C34	40,8	408,20	116,63	7,01	49,18
15	CRM.HCFM.C35	39,9	398,65	113,90	-2,53	6,42
16	CRM.HCFM.C36	39,6	395,63	113,04	-5,55	30,85
17	CRM.HCFM.C37	41,5	415,30	118,66	14,11	199,13
18	CRM.HCFM.C38	40,0	400,07	114,31	-1,11	1,24
19	CRM.HCFM.C39	40,1	401,07	114,59	-0,12	0,01
20	CRM.HCFM.C40	39,1	391,42	111,83	-9,77	95,38
21	CRM.HCFM.C41	39,9	399,03	114,01	-2,16	4,67
22	CRM.HCFM.C42	40,0	400,32	114,38	-0,87	0,76
23	CRM.HCFM.C43	39,2	391,75	111,93	-9,44	89,09
24	CRM.HCFM.C44	39,6	396,13	113,18	-5,06	25,56
25	CRM.HCFM.C45	40,9	409,16	116,90	7,98	63,61
		$f'_{cm} =$	401,19		$\Sigma =$	1517,38
Datos		$f'_c =$	350		$s =$	7,95
		$n =$	25		$\delta =$	1,03
Ecuaciones resistencia característica			$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s$		$f'_{cr} (1) =$	360,97
			$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 35$		$f'_{cr} (2) =$	334,08

Fuente: El Autor.

ANEXO VI. ANEXO FOTOGRÁFICO



Fotografía 8.1. Fibra de polipropileno



Fotografía 8.2. Fibra metálica.



Fotografía 8.3. Desmoldado de probetas cilíndricas.



Fotografía 8.4. Desmoldado de vigas.



Fotografía 8.5. Curado de probetas cilíndricas.



Fotografía 8.6. Curado de vigas.



Fotografía 8.7. Ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas.



Fotografía 8.8. Preparación de vigas para ser ensayadas.



Fotografía 8.9. Ensayo de resistencia a flexión en vigas apoyadas en los extremos y cargadas en los tercios de la luz libre.