



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO CON MÓDULO DE ROTURA 4,5
MPa. A LAS 24 HORAS”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

JACOB LUIS MOSQUERA AVILA

GUAYAQUIL - ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque sin él nada de lo que realice en la vida tendría sentido.

A la Ing. Natividad García, por el sacrificio y dedicación como directora de tesis, al Ingeniero Cristian Velasco por la ayuda brindada, a los técnicos del CTH por la ayuda y consejos brindados, a mis padres por el apoyo en todo el tiempo de mis estudios.

Jacob Luis Mosquera Avila

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Cristian Valarezo, por su asesoría, sus conocimientos, sus orientaciones han sido fundamentales para la realización de la presente investigación.

Jacob Luis Mosquera Avila

DEDICATORIA

A mis padres: Luis Mosquera y Martha Avila y familiares porque siempre han estado conmigo, gracias por brindarme su apoyo incondicional.

Jacob Luis Mosquera Avila

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Kenny Fernando Escobar Segovia MSc.

Presidente del Tribunal

Ing. Natividad Leonor García Troncoso.MSc.

DIRECTORA DE TESIS

Ing. Daniel Antonio Toro Castillo

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Jacob Luis Mosquera Avila

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la obtención de un hormigón de alto desempeño, cuya resistencia a la flexión a las 24 horas es de 4.5 MPa, para ello se realizaron diferentes dosificaciones con aditivos que fueron probadas mediante ensayos normalizados para conocer y obtener el desempeño deseado.

La caracterización y el desempeño de los aditivos se lo realizaron evaluando la resistencia en cubos de mortero a las edades de 1 y 3 días. En el mortero de cemento se varió el porcentaje de aditivos en combinación de dos o más aditivos, luego se procedió a elaborar hormigones con las mismas dosificaciones, y a realizar pruebas, optimizando el contenido de cemento en las diferentes dosificaciones para alcanzar mejores niveles de resistencia.

Como material se utilizó el Cemento Hidráulico: HOLCIM PREMIUM Tipo HE (Alta Resistencia Inicial por su siglas en inglés), fabricado bajo la NTE INEN 2380; debido a las altas resistencia que desarrolla este cemento fue factible alcanzar altos niveles de resistencias

Para garantizar el desempeño deseado se requiere de un estricto control de calidad en los materiales, en la dosificación y en los procedimientos de colocación - curado y así, asegurar que se obtenga en el hormigón de alto desempeño las propiedades necesarias tanto en estado fresco como en estado endurecido y de durabilidad del hormigón con resistencia a la flexión de 4.5 MPa a las 24 horas.

INDICE GENERAL

RESUMEN	VII
INDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS	XXII
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	XXIII
INDICE DE GRÁFICOS	XXVI
INDICE DE TABLAS	XXVII
INDICE ECUACIONES.....	XXX

CAPÍTULO 1	1
1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes del Hormigón de Alto Desempeño	3
1.2 Fundamentos del Hormigón de Alto Desempeño	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivos Generales.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Metodología, Alcance y Limitaciones.....	5
CAPÍTULO 2.....	6
2 Características del Hormigón y sus Materiales	6
2.1 Hormigón en Estado Fresco	6
2.1.1 Mezclado.....	6
2.1.2 Trabajabilidad.....	7
2.1.3 Consolidación.....	9
2.1.4 Hidratación, Endurecimiento, Fraguado.....	10
AGUA DE MEZCLADO	11
2.2 Hormigón Endurecido	12
2.2.1 Curado	12

2.2.2	Resistencia.....	14
2.2.3	Densidad.....	16
2.2.4	Durabilidad.....	16
2.2.5	Resistencia al desgaste.....	16
2.2.6	Control de agrietamientos.....	18
2.3	Cemento Hidráulico Holcim.....	19
	Introducción.....	19
2.3.1	Fabricación del Cemento.....	19
2.3.1.1	Explotación de la materia prima.....	19
2.3.1.2	Preparación y dosificación de materia primas.....	20
2.3.1.3	Homogenización y Almacenamiento.....	20
2.3.1.4	Clinkerización.....	20
2.3.1.5	Enfriamiento.....	21
2.3.1.6	Adiciones finales y molienda.....	21
2.3.1.7	Empaque y distribución.....	21
2.3.2	Tipos de Cemento Norma INEN 2380.....	22
2.3.2.1	Introducción.....	22
2.3.2.2	Cemento Tipo GU.....	23
2.3.2.3	Cemento Tipo HE.....	23

2.3.2.4	Cemento Tipo MS y HS	24
2.3.2.5	Cemento Tipo MH y LH	24
2.3.3	Propiedades Físicas y Químicas Norma INEN 2380.....	25
2.3.3.1	Propiedades Físicas	25
2.3.3.2	Propiedades Químicas	27
2.4	Agregados (Cantera Huayco-Guayaquil)	27
2.4.1	Introducción.....	27
2.4.2	Clasificación según su tamaño.....	27
2.4.2.1	Agregados Fino	27
2.4.2.2	Agregado Grueso	28
2.4.3	Clasificación según su procedencia	28
2.4.3.1	Agregados Naturales	28
2.4.3.2	Agregados Artificiales	28
2.4.4	Propiedades Físicas y Mecánicas	28
2.4.4.1	Abrasión	28
2.4.4.2	Granulometría.....	29
2.4.4.3	Peso Volumétrico o Densidad Suelta	32
2.4.4.4	Densidad relativa	32
2.4.4.5	Densidad	32

2.4.4.6	Absorción y Humedad	32
2.4.4.7	Resistencia de los agregados.....	33
2.5	Agua	33
2.5.1	Introducción.....	33
2.5.2	Clasificación de Agua de Mezclado.....	33
2.5.2.1	Agua de mezclado	33
2.5.2.2	Agua Evaporable	34
2.5.2.3	Agua de absorción.....	34
2.5.2.4	Agua Capilar	34
2.5.2.5	Agua Libre	34
2.5.2.6	Agua de Curado.....	35
2.6	Aditivos	35
2.6.1	Introducción.....	35
2.6.2	Clasificación de los Aditivos ASTM C494.....	35
2.6.2.1	Aditivos Reductores de Agua.....	36
2.6.2.2	Aditivo Retardantes de fraguado	36
2.6.2.3	Aditivos Acelerante de fraguado.....	36
2.6.2.4	Aditivo Reductor de Agua y Retardante.....	37
2.6.2.5	Aditivo Reductor de Agua y Acelerante	37

2.6.2.6	Aditivos reductores de agua de Alto Rango.....	37
2.6.2.7	Aditivos reductores de agua de Alto Rango y Retardante ..	37
2.6.2.8	Aditivos para funciones específicas.....	38
2.6.3	Aditivos Utilizados	39
2.6.3.1	Sikament MR-CC.....	39
2.6.3.2	Sikament N100	39
2.6.3.3	Sikament HE 200.....	40
2.6.3.4	Sika ViscoCrete 2100	40
2.6.3.5	Sika ViscoCrete 20 HE	41
2.6.3.6	Plastocrete 169 HE.....	41
2.6.3.7	SikaFume.....	42
CAPÍTULO 3.....		43
3	Diseño de Mezcla de Hormigón de Alto Desempeño.	43
3.1	Relación Agua-Material Cementante	43
3.2	Proporción de agregados.....	45
3.3	Contenido de Cemento y adiciones.	46
3.4	Cantidades de aditivos.....	47
3.5	Resistencia Especificada.....	47
3.6	Preparación, mezclado, transporte y colocación del hormigón.....	48

3.7	Colocación	49
3.8	Compactación	49
3.9	Acabado.....	50
3.10	Curado.....	50
CAPÍTULO 4.....		51
4	Ensayos Preliminares.....	51
4.1	Determinación del Tiempo de Fraguado, Método de Vicat INEN 158 51	
4.1.1	Objetivo General	51
4.1.2	Características Generales.....	51
4.1.3	Equipo a usarse:	52
4.1.4	Materiales.....	52
4.1.5	Procedimiento	52
4.2	Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cubos de Mortero.	55
4.2.1	Objetivo General	55
4.2.2	Características Generales.....	55
4.2.3	Equipo a usar	55
4.2.4	Materiales.....	56

4.2.5	Procedimiento	56
4.3	Abrasión y Degradación Norma Inen 860 – ASTM C 131.....	62
4.3.1	Objetivo General	62
4.3.2	Características Generales.....	62
4.3.3	Equipo a usar	63
4.3.4	Materiales.....	63
4.3.5	Procedimiento	63
4.4	Determinación de las Impurezas Orgánicas en el Árido Fino para Hormigón Norma INEN 855.....	66
4.4.1	Objetivo general	66
4.4.2	Características generales.....	66
4.4.3	Equipos a utilizar	66
4.4.4	Materiales.....	67
4.4.5	Procedimiento	68
4.5	Granulometría de Materiales Norma INEN 696- ASTM C 136.....	69
4.5.1	Objetivo General	69
4.5.2	Características Generales.....	69
4.5.3	Equipo a utilizar.....	71
4.5.4	Materiales.....	71

4.5.5	Procedimiento	71
4.6	Determinación de la Densidad y Absorción para Agregados Finos	
	Norma INEN 857-ASTM C128.....	73
4.6.1	Objetivo General	73
4.6.2	Características Generales.....	73
4.6.3	Equipo a utilizar.....	73
4.6.4	Materiales.....	74
4.6.5	Procedimiento	74
4.7	Determinación de la Densidad y Absorción para Agregados Gruesos	
	Norma INEN 857-ASTM C 127.....	77
4.7.1	Objetivo General	77
4.7.2	Características Generales.....	77
4.7.3	Equipo a utilizar.....	78
4.7.4	Materiales.....	78
4.7.5	Procedimiento	79
4.8	Determinación de la Masa Unitaria y el Porcentaje de Vacíos Norma	
	INEN 858-ASTM C 29	80
4.8.1	Objetivo General	80
4.8.2	Características Generales.....	80

4.8.3	Equipo a utilizar.....	81
4.8.4	Materiales.....	81
4.8.5	Procedimiento	82
4.9	Determinación del Contenido Total de Humedad en Agregados Finos y Gruesos. Norma INEN 1573	83
4.9.1	Objetivo general	83
4.9.2	Características generales.....	83
4.9.3	Equipos a utilizar	83
4.9.4	Materiales.....	84
4.9.5	Procedimiento	85
4.10	Medición y análisis de la Generación de Temperatura en un Mortero de Cemento utilizando los equipos HolcimCone y HolcimHeat.	87
4.10.1	Objetivos Generales.....	87
4.10.2	Objetivos específicos	87
4.10.3	Características Generales.....	87
4.10.4	Equipo a Utilizar	88
4.10.5	Materiales.....	88
4.10.6	Procedimiento	89
CAPÍTULO 5	93

5	Ensayo para la Elaboración del Hormigón	93
5.1	Método Estándar para el Revenimiento de Hormigón de Cemento Hidráulico Norma INEN 1578 – ASTM C 143	93
5.1.1	Objetivo general	93
5.1.2	Características generales.....	93
5.1.3	Equipos a utilizar	94
5.1.4	Materiales.....	94
5.1.5	Procedimiento	94
5.2	Medición de Temperatura en Hormigón Fresco Norma ASTM C 1064. 96	
5.2.1	Objetivo general	96
5.2.2	Características generales.....	96
5.2.3	Equipos a utilizar	96
5.2.4	Materiales.....	96
5.2.5	Procedimiento	97
5.3	Determinación del Contenido de Aire en el Hormigón Fresco Método de Presión ASTM C 231	97
5.3.1	Objetivo general	97
5.3.2	Características generales.....	97

5.3.3	Equipos a utilizar	98
5.3.4	Materiales.....	98
5.3.5	Procedimiento	98
5.4	Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Hormigón para Ensayo Norma INEN 1576.	101
5.4.1	Objetivo general	101
5.4.2	Características generales.....	101
5.4.3	Equipos a utilizar	101
5.4.4	Materiales.....	102
5.4.5	Procedimiento	102
5.5	Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico Norma INEN 1573	105
5.5.1	Objetivo general	105
5.5.2	Características generales.....	105
5.5.3	Equipos a utilizar	105
5.5.4	Materiales.....	105
5.5.5	Procedimiento	106
5.6	Ensayos No Destructivos.....	109
5.6.1	Permeabilidad al aire:.....	109

5.6.2	Ultrasonido:	112
CAPÍTULO 6.....		115
6	Resultados de los ensayos Realizados	115
6.1	Tiempo de Fraguado.....	115
6.2	Impurezas Orgánicas.....	116
6.3	Granulometría.....	117
6.4	Densidad y Absorción	121
6.5	Porcentaje de Vacíos.....	121
6.6	Contenido de humedad.....	122
6.7	Resistencia en cubos de Mortero y Resultados	122
6.8	Generación de Temperatura del Mortero utilizando el Holcim Heat. 123	
6.9	Abrasión de los Ángeles	125
6.10	Permeabilidad al Aire.....	125
6.11	Velocidad de Onda	125
6.12	Dosificaciones en Hormigón y Resultados.....	127
CAPÍTULO 7.....		145
7	.Conclusiones y Recomendaciones	145
7.1	Conclusiones	145

7.2	Recomendaciones	147
	ANEXOS:.....	148
	PERMEABILIDAD AL AIRE DEL HORMIGÓN.....	174
7.3	Bibliografía.....	182

ABREVIATURAS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for testing and Materials
cm	Centímetros
GPa	Giga Pascal
HE	High Early Strength-Alta Resistencia Inicial
kg	Kilogramo
kg/cm²	Kilogramo sobre centímetro cuadrado
l	Litro
m	Metros
m/s	Metros sobre segundos
m³	Metros Cúbicos
MPa	Mega Pascal

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2.1 Mezclado de Agregados	7
Fotografía 2.2 Prueba de Asentamiento	8
Fotografía 2.3 Vibración Inadecuada	10
Fotografía 2.4 Hidratación del Hormigón	11
Fotografía 2.5 Agua potable a 23°C.....	11
Fotografía 2.6 Almacenamiento de especímenes en Piscina	13
Fotografía 2.7 Cilindro antes de ser ensayado	14
Fotografía 2.8 Cilindro luego del ensayo	15
Fotografía 2.9 Barras de Hormigón en estado Fresco	18
Fotografía 2.10 Barras de hormigón en estado endurecido.....	18
Fotografía 4.1 Pesar Cemento en la balanza de precisión	53
Fotografía 4.2 Mezcla de Mortero	57
Fotografía 4.3 Mesa de flujo	58
Fotografía 4.4 Fluidez de 110%±5%.....	58
Fotografía 4.5 Cubos de mortero endurecido	59
Fotografía 4.6 Medición de cubos con el calibrador.....	61
Fotografía 4.7 Cubos en máquina de ensayo	61
Fotografía 4.8 Rotura de cubo de mortero.....	62
Fotografía 4.9 Comparador Normalizado.....	67
Fotografía 4.10 Mezcla de arena con hidróxido	68

Fotografía 4.11 Comparación de color.....	69
Fotografía 4.12 Agitador mecánico	72
Fotografía 4.13 Muestra para colocar en Horno	74
Fotografía 4.14 Muestra sumergida en agua	75
Fotografía 4.15 Árido en estado SSS	76
Fotografía 4.16 Llenado hasta la marca de calibración	77
Fotografía 4.17 Peso de Agregados Húmedos.....	85
Fotografía 4.18 Peso de agregados secos y peso de la bandeja	86
Fotografía 4.19 Mezcla de Mortero	90
Fotografía 4.20 Prueba de flujo con HolcimCone	91
Fotografía 4.21 Medición de Flujo a los 10 minutos.....	91
Fotografía 4.22 Medición de Flujo a los 45 minutos.....	92
Fotografía 5.1 Medición de Asentamiento	95
Fotografía 5.2 Moldes sobre superficie firme y nivelada.....	102
Fotografía 5.3 Moldeo de vigas.....	103
Fotografía 5.4 Desencofrado de viga.....	104
Fotografía 5.5 Almacenamiento en agua con cal.....	104
Fotografía 5.6 Medición de cilindro	107
Fotografía 5.7 Ensayo a compresión	108
Fotografía 5.8 Carga última y patrón de fisura.....	108
Fotografía 5.9 Equipo de Permeabilidad de Torrent	110
Fotografía 7.1 Preparación de materiales para prueba.....	175

Fotografía 7.2 Agregados Finos y Gruesos	175
Fotografía 7.3 Colocación de agregados en la mezcladora.....	176
Fotografía 7.4 Mezcla de agregados	176
Fotografía 7.5 Mezclado de agregados con agua por varios minutos.....	177
Fotografía 7.6 Vigas sobre superficie nivelada	177
Fotografía 7.7 Moldeo de vigas en 2 capas	178
Fotografía 7.8 Colocación de plástico para prevenir la pérdida de humedad	178
Fotografía 7.9 Desencofrado de vigas	179
Fotografía 7.10 Rotura de Vigas	179
Fotografía 7.11 Rotura en el tercio medio.....	180
Fotografía 7.12 Rotura de los agregados y no desprendimiento	180
Fotografía 7.13 Ensayo de Ultrasonido.....	181
Fotografía 7.14 Ensayo de permeabilidad al Aire	181

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Efecto de la resistencia a la compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a la abrasión del hormigón	17
Gráfico 2. Curva Granulométrica de la Arena de Rio.....	117
Gráfico 3 Curva Granulométrica de la Arena Unificada	118
Gráfico 4 Curva Granulométrica de la Piedra # 78	119
Gráfico 5 Curva Granulométrica de la Piedra # 67	120
Gráfico 6 Grafico de Tiempo vs Generación de Temperatura con el Holcim Heat	124
Gráfico 7 Grafico Tiempo vs Temperatura Acumulada con el Holcim Heat	124
Gráfico 8 Resultados de pruebas en Hormigón con los aditivos: Sikament MR-Sikament N100.....	141
Gráfico 9 Resultados de pruebas en Hormigón con el aditivo Viscocrete 20 HE.....	142
Gráfico 10 Resultados de pruebas en Hormigón con el aditivo: Viscocrete 2100.....	143
Gráfico 11 Resultados de pruebas en Hormigón con los aditivos: Sikament HE200 y Sikament N100.....	144

INDICE DE TABLAS

Tabla I. Tolerancia cuando se especifica un máximo en el Asentamiento.....	8
Tabla II. Tolerancia cuando no se especifica un máximo en el asentamiento	9
Tabla III. Limites segun norma ASTM C33	30
Tabla IV. Cálculo módulo de finura	31
Tabla V. Aditivo Sikament MR CC (SIKA, 2012).....	39
Tabla VI. Aditivo Sikament N100 (SIKA, 2012).....	39
Tabla VII. Sikament HE 200 (SIKA, 2012)	40
Tabla VIII. Sika ViscoCrete 2100 (SIKA, 2012).....	40
Tabla IX. Sika ViscoCrete 20 HE (SIKA, 2012).....	41
Tabla X. Plastocrete 169 HE (SIKA, 2012)	41
Tabla XI. SikaFume (SIKA, 2012).....	42
Tabla XII. Relación Agua-Material Cementante Máxima y Resistencia de Diseño Mínima para varias condiciones de Exposición. (ACI201.2R-08, 2014)	44
Tabla XIII. Relación Agua-Material Cementante Máxima y Resistencia de Diseño Mínima para varias condiciones de Exposición (ACI201.2R-08, 2014)	44
Tabla XIV. Volumen de Agregado Grueso por unidad de volumen de hormigón (ACI, 2014).....	46
Tabla XV. Tolerancia en el ensayo según la edad de la probeta	60

Tabla XVI. Masa requerida de los tamices dependiendo de la gradación	64
Tabla XVII. Masa de la carga abrasiva dependiendo de la gradación	65
Tabla XVIII. Escala de Gardner	67
Tabla XIX. Masa mínima de muestra dependiendo del TMN.....	70
Tabla XX. Masa mínima para ensayo dependiendo del TNM.....	79
Tabla XXI. Capacidad de los moldes	81
Tabla XXII. Masa de muestra para la obtención del contenido de Humedad	84
Tabla XXIII. Tolerancia en el ensayo según la edad de la probeta	106
Tabla XXIV. Clasificación de la permeabilidad del hormigón en función de kT	109
Tabla XXV. Clasificación de la calidad del Hormigón por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman.....	112
Tabla XXVI Evaluación de la calidad mediante la velocidad de pulso según Agraval.....	112
Tabla XXVII. Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas.	113
Tabla XXVIII Tiempos de Fraguado en Mortero y generación de calor a través del tiempo con el Holcim Heat	123
Tabla XXIX. Dosificación Número: 1	127
Tabla XXX. Dosificación Número: 2.....	128
Tabla XXXI. Dosificación Número: 3.....	129
Tabla XXXII. Dosificación Número: 4.....	130
Tabla XXXIII. Dosificación Número: 5.....	131

Tabla XXXIV. Dosificación Número: 6	132
Tabla XXXV. Dosificación Número: 7	133
Tabla XXXVI. Dosificación Número: 8	134
Tabla XXXVII. Dosificación Número: 9	135
Tabla XXXVIII. Dosificación Número: 10	136
Tabla XXXIX. Dosificación Número: 11	137
Tabla XL. Dosificación Número: 12.....	138
Tabla XLI. Dosificación Número: 13.....	139
Tabla XLII. Dosificación Número: 14.....	140

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo del coeficiente de permeabilidad al aire	111
--	-----

CAPÍTULO 1

1 Introducción

El hormigón es el material más utilizado para construcciones de edificaciones, carreteras, puentes y obras de construcción en general, a través de los años se ha hecho necesario un mayor desempeño en el hormigón, y debido al cumplimiento de plazos establecidos en la entrega de obras, es necesario que los hormigones desarrollen sus propiedades a edades cada vez más tempranas y así poder cumplir los avances de obra. Es por esto que con el uso de aditivos superplastificantes y reductores de agua se ha logrado poder satisfacer parcialmente las necesidades de los constructores de estas obras, debido al incremento de resistencias que brindan al reducir la relación agua cemento.

Existen varias obras que necesitan estar en funcionamiento lo más rápido posible como por ejemplo: reconstrucción de losas de aeropuertos, carreteras, pisos industriales o cualquier otra obra que se requiera una inmediata habilitación al tráfico vehicular.

La mejor opción para satisfacer esta necesidad es diseñar un hormigón que cumpla las características requeridas, que se pueda transportar en los camiones mezcladores (mixer) y mantenga una buena trabajabilidad y fácil colocación en obra. Probar la eficiencia de aditivos en cubos de mortero añadiendo aditivos que ayuden a alcanzar la resistencia altas y luego probar diseños de hormigones variando la cantidad de cemento hasta encontrar las características adecuadas con la finalidad de obtener un Módulo de Rotura de 4.5 MPa. a las 24 Horas.

Para el Diseño se deben tener en cuenta además, de la resistencia a la flexión las siguientes consideraciones: características y procedencia de los agregados, agua, aditivos, tiempos de fraguado (tiempo de transporte y colocación del hormigón en la obra). Tomando en cuenta todas estas consideraciones, se procederá a realizar el siguiente tema de tesis: "HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO CON MÓDULO DE ROTURA 4,5 MPA A LAS 24 HORAS"

Los hormigones de alto desempeño superan las propiedades del concreto convencional.

1.1 Antecedentes del Hormigón de Alto Desempeño

En los últimos 50 años los hormigones han tenido un incremento en la resistencias es por esto que en las ultima décadas se los han llamado como hormigones de alta resistencia, luego con el uso de aditivos se consiguió reducir la relación gua-cemento y esto ayudo a mejorar sus propiedades mecánicas. Es por esto que el nombre de alta resistencia debía ser cambiado para una mejor comprensión de los hormigones con mejor desempeño y fue entonces que la mejor expresión fue llamarlos como Hormigones de Alto Desempeño. (AİTCIN, 1998)

1.2 Fundamentos del Hormigón de Alto Desempeño

Los hormigones de alto desempeño poseen mejores propiedades que los hormigones convencionales. Se los puede producir con un buena selección de las materias primas: agregados, cemento, aditivos y agua además de un buen control de calidad que garantice un mezclado homogéneo de la mezcla tomando en cuenta la variabilidad de la materia prima que se pudiesen presentar (Steven H. Kosmatka, 2004)

Entre las propiedades que pueden tener estos hormigones se tienen:

- Alta resistencia
- Alta resistencia inicial

- Alto módulo de elasticidad
- Alta resistencia a abrasión
- Alta durabilidad y vida útil larga en ambientes severos
- Baja permeabilidad y difusión
- Resistencia al ataque químico
- Alta resistencia a la congelación y a los daños causados por las sales de deshielo
- Tenacidad y resistencia al impacto
- Estabilidad de volumen
- Fácil colocación
- Compactación sin segregación
- Cohibición del crecimiento de bacterias y moho. (Steven H. Kosmatka, 2004)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivos Generales

- Obtener la dosificación que cumpla con la resistencia a la flexión de 4.5 MPa a las 24 horas y trabajabilidad de 1 hora.
- Caracterizar los agregados que se emplearán en el diseño.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar la resistencias obtenidas con los diferentes aditivos

- Determinar la mejor combinación de aditivo que garantice la trabajabilidad en el hormigón de al menos 1 hora.
- Analizar los datos de Hormigón en estado fresco de la dosificación que cumpla con el desempeño requerido.

1.4 Metodología, Alcance y Limitaciones

En el presente trabajo se empleó: el método experimental y analítico para analizar y evaluar los diferentes comportamientos y características de los materiales utilizados, y si los mismos satisfacen las especificaciones planteadas.

El alcance de esta investigación es el de caracterizar y evaluar los materiales: agregados, cemento y aditivos con los que se fabrican hormigones en la Planta San Eduardo de Holcim-Guayaquil y llegar a conocer los límites de resistencia que se podría ofrecer a los clientes a la edad de un día, específicamente cuando se requiere una resistencia a la flexión, además de la resistencia a la compresión. Como limitación de la presente investigación tenemos que los agregados que se utilizarán son los proveniente de la cantera “Calizas Huayco” y de la arenera “Anropevi”.

CAPÍTULO 2

2 Características del Hormigón y sus Materiales

2.1 Hormigón en Estado Fresco

2.1.1 Mezclado

Es una combinación de los agregados, agua, aditivos y cemento que se utilizara para la fabricación del hormigón, el mezclado es parte fundamental en el desempeño de hormigón, ya que si no se realiza de la manera correcta los aditivos no obtuviesen la eficiencia que se espera y por consecuente no alcanzarían las características que espera obtener con la combinación de todos los elementos que van a ser usados en los hormigones de alto desempeño.



Fotografía 2.1 Mezclado de Agregados

Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

2.1.2 Trabajabilidad

Es una propiedad de los hormigones en estado plástico, la trabajabilidad se mide mediante el ensayo de asentamiento o fluidez (ver figura 2.2). Esto determina la capacidad para transportar, colocar, manejar y consolidar el hormigón.

Los factores que influyen a la misma son:

1. Duración del transporte
2. Características del Cemento
3. Consistencia del hormigón
4. Característica de los agregados
5. Relación agua-cemento
6. Temperatura ambiente y del hormigón

7. Tipos de aditivos

Fotografía 2.2 Prueba de Asentamiento



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Tolerancia en el asentamiento (INEN 1855)

a) Cuando en las especificaciones del proyecto para el asentamiento esté escrito como requisito un “máximo” o “no exceder” de:

Tabla I. Tolerancia cuando se especifica un máximo en el Asentamiento

Tolerancias	Asentamiento	
	80mm o menos	mayor a 80 mm
tolerancias en más	0 mm	0 mm
tolerancia en menos	40 mm	60 mm

b) Cuando en las especificaciones del proyecto para el asentamiento no esté escrito como requisito un “máximo” o “no exceder” de:

Tabla II. Tolerancia cuando no se especifica un máximo en el asentamiento

Asentamiento especificado	Tolerancias
50 mm o menos	± 15 mm
Entre 50 mm y 100 mm	± 25 mm
mayor que 100 mm	± 40 mm

2.1.3 Consolidación

La consolidación del hormigón depende directamente de la adecuada vibración que se le aplique al mismo y de la consistencia que tenga.

Mediante la vibración las partículas obtienen una mayor movilidad entre ellas lo que da como resultado al buen grado de consolidación del hormigón.

La vibración permite la utilización de mezclas menos fluidas, con mayor proporción de agregado grueso y menor agregado fino, si el agregado es bien graduado, mayor es el tamaño de la partícula, menor es el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, menos agua y menos cemento.

Cuando los hormigones son fluidos la consolidación se la realiza mediante varillado.

Fotografía 2.3 Vibración Inadecuada



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

2.1.4 Hidratación, Endurecimiento, Fraguado.

En la hidratación del hormigón el agua es el principal componente del hormigón que entra en contacto con el cemento, lo cual genera el proceso de hidratación, en esta, se dan una serie de reacciones químicas que terminan entregando al hormigón sus propiedades físicas y mecánicas, el buen uso se convierte en un parámetro principal de evaluación para establecer el eficiente desempeño del hormigón en la aplicación.

Fotografía 2.4 Hidratación del Hormigón



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

AGUA DE MEZCLADO

Es la cantidad de agua que requiere el hormigón por unidad de volumen para que las partículas de cemento se hidraten y proporcionen las condiciones de trabajabilidad adecuada y a la vez permitan el transporte, colocación y el acabado del mismo.

Fotografía 2.5 Agua potable a 23°C



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

La adherencia de la pasta de cemento se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, este proceso se conoce como hidratación. ((INEN), 2011)

“Cuando al molerse el Clinker, actúa como un regulador del fraguado inicial del cemento portland. La finura del cemento, aditivos, cantidad de agua adicionada y temperatura de los materiales en el momento de la mezcla son otros factores que influyen la tasa (velocidad) de hidratación”. (Steven H. Kosmatka, 2004).

2.2 Hormigón Endurecido

2.2.1 Curado

El curado es el procedimiento que se le brinda al hormigón luego de que a este, se lo haya colocado en su sitio y de haberle dado el acabado a su superficie, el curado ayuda a que el hormigón desarrolle sus propiedades físicas y mecánicas a la edad especificada.

Fotografía 2.6 Almacenamiento de especímenes en Piscina



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Un mal curado del hormigón a edades tempranas, produce una pérdida de resistencia, como lo observamos en la siguiente gráfica:

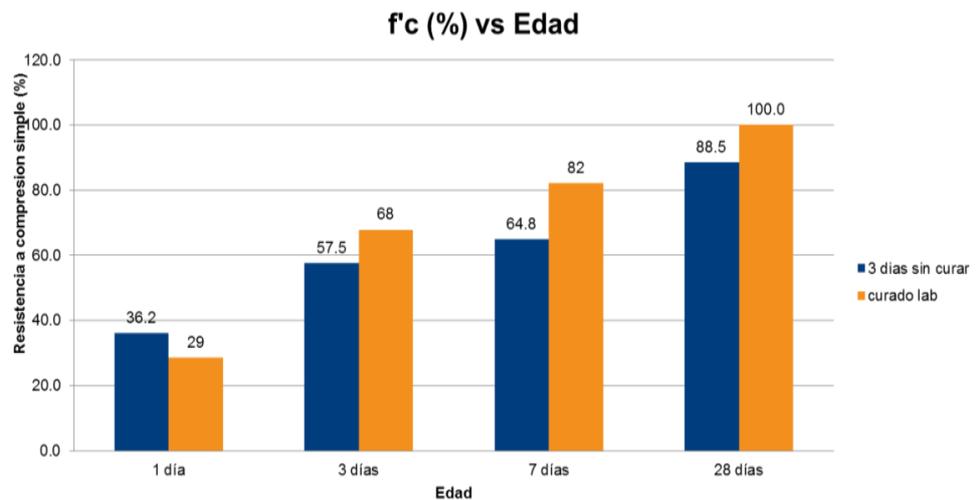


Gráfico 1 Resistencia a la compresión de hormigón curado continuo y de hormigón curado después de 3 días sin hidratar.

La NEC-SE-HM cita en la sección 9.6.1 Curado

“Las superficies expuestas de hormigón que contienen cemento hidráulico deben mantenerse húmedas por el tiempo especificado en cada proyecto. Si no se dispone de esta especificación deben mantenerse húmedas por al menos de 5 a 7 días. Mientras mayor es la cantidad de humedad retenida dentro del hormigón mayor es la eficiencia del curado”. ((NEC), 2014)

2.2.2 Resistencia

La resistencia a la compresión la definimos como la máxima medida de la resistencia a carga axial de especímenes. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), o en Mega pascales (MPa).

Fotografía 2.7 Cilindro antes de ser ensayado



Fuente: In situ
Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Fotografía 2.8 Cilindro luego del ensayo



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

La resistencia a la Flexión se utiliza en el diseño de pavimento, pisos industriales, losas, etc. Se puede establecer un relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión, las pruebas en el laboratorio deben andar en un rango del 8 al 12% de resistencia a la flexión con respecto a la de compresión.

2.2.3 Densidad

La densidad de los hormigones para pavimentos, edificios y otras estructuras posee una densidad de entre: 2200 a 2400 kg/m³, esta densidad depende directamente de la cantidad y densidad del agregado, también del contenido de aire y de la cantidad de cemento y cantidad de agua.

2.2.4 Durabilidad

La durabilidad del hormigón la definiremos como la habilidad que tiene para soportar el ataque de agentes externos, ataques químicos, abrasión etc., manteniendo sus propiedades intactas.

2.2.5 Resistencia al desgaste

La resistencia al desgaste está relacionada directamente con la resistencia a la compresión del hormigón (ASTM C 1138).

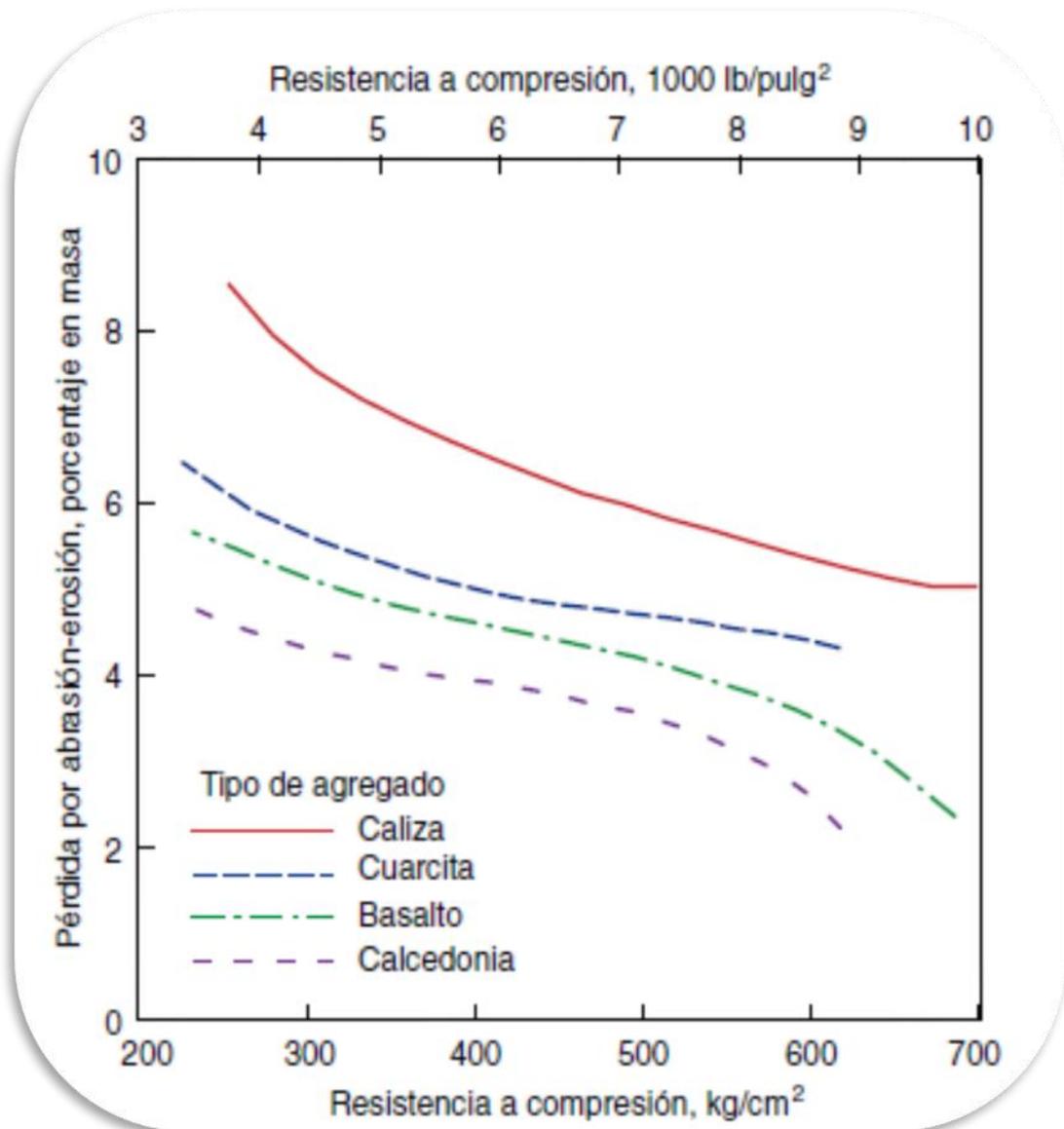


Gráfico 1 Efecto de la resistencia a la compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a la abrasión del hormigón

Fuente: ASTM C138-09
Elaborado por: Jacob Mosquera

2.2.6 Control de agrietamientos

El hormigón en estado endurecido cambia de volumen cuando cambia la temperatura ambiente y humedad relativa.

Fotografía 2.9 Barras de Hormigón en estado Fresco



Fuente: In situ
Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Fotografía 2.10 Barras de hormigón en estado endurecido



Fuente: In situ
Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

El hormigón mientras se lo mantiene con un curado adecuado, es decir húmedo tiende a expandirse ligeramente, pero cuando ya ha

cumplido sus días de curado especificados por la norma y se permite su secado al aire, el hormigón empieza a contraerse y los factores a la retracción son: el contenido de agua, la humedad relativa y temperatura ambiente; el tipo de curado que se le aplicó, el tipo de cemento que se utiliza para la mezcla y el tiempo que está expuesta al ambiente.

2.3 Cemento Hidráulico Holcim

Introducción

El Cemento es el material más usado en todo tipo de construcciones. Este material tiene la propiedad de endurecerse con el agua y fraguar, alcanza propiedades mecánicas considerables dependiendo de las materias primas que se utilicen en su elaboración y las adiciones de minerales que se utilicen.

2.3.1 Fabricación del Cemento

2.3.1.1 Explotación de la materia prima

Entre las materias primas que componen el cemento tenemos:

- Caliza
- Sílice
- Aluminio
- Hierro

Las cuales se las obtiene de la fuente de Caliza de Cerro Blanco de Guayaquil y del depósito de arcillas ubicado en Latacunga.

2.3.1.2 Preparación y dosificación de materia primas

La caliza es transportada hasta el proceso de trituración reduciendo el tamaño desde hasta 1m a 100mm. El material triturado se transporta en bandas hacia los molinos de crudo, donde molido junto con arcilla, arena ferrosa y fluorita, lo que permite reducir las variaciones en su composición química en la materia prima, a lo que se llama crudo el cual es un polvo muy fino, los cuales se deposita en los silos de almacenamiento.

2.3.1.3 Homogenización y Almacenamiento

Una vez que la harina cruda es depositada en estos silos, la misma es extraída y envía al precalentador; luego pasa por las diferentes etapas en los ciclones donde el Crudo es calentado a temperaturas que varían desde 120°C hasta 880°C en cuestión de segundos antes de pasar al horno donde se produce el Clinker.

2.3.1.4 Clinkerización

Una vez que el material pasa al horno el crudo es calentado a 1450°C donde el material sufre una transformación físico-química, lo cual produce el Clinker, siendo el principal componente del

cemento, debido a que él mismo, posee las características hidráulicas.

2.3.1.5 Enfriamiento

Luego de obtener el Clinker, este material pasa por la enfriadora donde se baja la temperatura y luego es almacenado en silos.

2.3.1.6 Adiciones finales y molienda

El Clinker se muele juntamente con materiales minerales como yeso y materiales puzolánicos lo que da a lugar al cemento. El cemento una vez que sale del molino es almacenado en silos.

2.3.1.7 Empaque y distribución

Luego de que el cemento es almacenado en silos se lo despacha en dos formas:

Al granel:

El cemento se coloca en cisternas de cemento graneleras.

En sacos:

Se utilizan envasadoras rotatorias de llenado automático en conjunto con un sistema de paletizado, luego con montacargas son transportados hasta los camiones que realizarán los despachos.

2.3.2 Tipos de Cemento Norma INEN 2380

2.3.2.1 Introducción

La normativa INEN 2380 clasifica a los cementos dependiendo de su aplicación y de las características que se desea obtener.

Entre las características que poseen estos cementos podemos citar las siguientes:

a) En el proceso de fabricación:

- Parte del Clinker es sustituido por componentes minerales, con un mismo nivel de desempeño que los cementos sin adiciones minerales.
- Generan una menor cantidad de CO₂.

b) En el desempeño de los mismos:

- Tienen una mayor durabilidad que los demás cementos sin adiciones, lo que introduce ciertos criterios de durabilidad.
- Tienen la propiedad de baja reactividad con áridos reactivos a la reacción álcali-sílice
- Menor exudación
- Fraguado lento y menor tendencia a las fisuras.
- Mejor trabajabilidad.

2.3.2.2 Cemento Tipo GU

Este tipo de cemento se lo utiliza en construcción en general, solo se debe utilizar cuando no sea necesario características especiales en el desempeño del mismo.

Se lo utiliza generalmente para:

- Construcción de viviendas.
- Morteros para enlucidos
- Obras en general donde no requieran características especiales para el cemento.

2.3.2.3 Cemento Tipo HE

La característica principal de este cemento es que alcanza altas resistencias a edades tempranas y por consecuencia se puede desencofrar más rápidamente. También tiene adición de puzolana al igual que el Tipo GU debido a que están clasificados dentro de la misma norma INEN 2380 pero son diferentes en cuanto a su composición química, resistencia y desempeño.

Es ideal para la construcción de estructuras donde se requieran mayores resistencias mecánicas como:

- Edificios
- Puentes

- Pavimentos
- Estructuras masivas, etc.

2.3.2.4 Cemento Tipo MS y HS

Las características principales son moderada resistencia a los sulfatos y alta resistencia a los sulfatos respectivamente.

Los sulfatos del que consideramos la alta o moderada resistencia a los mismos, pueden ser sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio que ocurren naturalmente en el suelo.

Los sulfatos reaccionan con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, esta reacción causa expansión y pueden producir la descomposición del concreto.

La norma ASTM C 1157 especifica los límites de expansión que pueden tener los cementos para que clasifiquen de alta o moderada resistencia a los sulfatos.

2.3.2.5 Cemento Tipo MH y LH

Sus características principales son su moderado calor de hidratación y bajo calor de hidratación respectivamente.

Este cemento es específicamente para mejorar y estabilizar la mayor parte de suelos para que se puedan utilizar en la construcción de estructuras de pavimentos.

Se pueden citar varias ventajas:

Mayor durabilidad de materiales utilizados que permitan estructuras de pavimentos con mayor capacidad de soporte y resistentes a los agentes atmosféricos.

Menor tiempo y costo de construcción y conservación, por el uso de materiales que permitan optimizar los espesores de las capas que conforman la estructura de los pavimentos.

2.3.3 Propiedades Físicas y Químicas Norma INEN 2380

2.3.3.1 Propiedades Físicas

2.3.3.1.1 Finura

Es una característica del cemento que está ligado al valor hidráulico del cemento, esto a su vez influye a la velocidad de las reacciones químicas en el proceso de fraguado y endurecimiento del mismo.

La finura del cemento afecta al desarrollo de calor, retracción y a las resistencia en todas la edades, a mayor es la finura del cemento mayor va a ser la retracción y calor de hidratación lo cual puede ser perjudicial.

2.3.3.1.2 Tiempo de Fraguado

Este parámetro se lo obtiene mediante el ensayo de Vicat, en el cual se mide el tiempo: Desde que el cemento reacciona con el

agua hasta que la pasta deje de ser plástica y luego el tiempo hasta que la pasta adquiera un cierto grado de endurecimiento a lo que se llama fraguado inicial y final respectivamente.

2.3.3.1.3 **Consistencia**

Se mide mediante el ensayo de consistencia usando la aguja del Vicat. Se utiliza para para pastas de cemento con consistencia normal, o también en morteros para obtener un rango de fluidez normado o relación a/c dada.

2.3.3.1.4 **Resistencia**

La resistencia se mide en cubos de morteros de 50mm de arista siguiendo el procedimiento descrito en la Norma INEN 488 para el moldeo, curado y rotura del mismo.

2.3.3.1.5 **Expansión en la Barra de Mortero**

Esta expansión máxima que se mide por el ensayo de expansión en autoclave, se debe por la cantidad de cal libre o magnesia supercalcinada. La expansión máxima en las barras las podemos encontrar en las normas para los diferentes tipos de cemento, ya sea cementos portland puros o puzolánico.

2.3.3.2 Propiedades Químicas

No se especifica propiedades Químicas.

2.4 Agregados (Cantera Huayco-Guayaquil)

2.4.1 Introducción

Los agregados utilizados provienen de la cantera Calizas Huayco: Piedra # 67 y #78 además de la arena triturada, y de la Cantera de Anropevi: la arena natural. Estos agregados dosificados en diferentes proporciones permiten obtener una mezcla que cumpla en la banda granulométrica escogida.

2.4.2 Clasificación según su tamaño

2.4.2.1 Agregados Fino

Estos agregados son aquellos cuyas partículas se encuentra retenidas entre los tamices N°4 y tamiz N°200.

De aquí dependiendo del módulo de finura se pueden clasificar en:

Arenas Gruesas $MF \geq 3$

Arenas Medias $MF = 2.5$

Arenas Finas $MF \leq 2.0$

2.4.2.2 Agregado Grueso

Es aquel Agregado que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas o trituración de las mismas.

2.4.3 Clasificación según su procedencia

2.4.3.1 Agregados Naturales

Son agregados los cuales no pasan ningún proceso para la obtención del mismo como las Arenas de Rio o Arenas de minas.

2.4.3.2 Agregados Artificiales

Son los agregados los cuales pasan a través de un proceso de trituración para la obtención del mismo.

2.4.4 Propiedades Físicas y Mecánicas

2.4.4.1 Abrasión

Es un índice de la calidad de los agregados, la prueba consiste en someter el material dentro de un tambor a una carga abrasiva a una velocidad determinada.

Dependiendo del porcentaje de desgaste del material se determina si el material es de buena o mala calidad, este porcentaje se limita a 50%.

2.4.4.2 Granulometría

Es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado el cual se determina mediante el análisis de los tamices. El tamaño de las partículas de los agregados se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas.

Para los agregados finos los tamices son los siguientes:

N°4 , N°8, N°16, N°30, N°50, N°100. Los cuales las aberturas varían desde de 3/8 pulg. a 150um según la norma ASTM C 33.

Entre otros requisitos que se cita en la norma ASTM C33 tenemos:

El agregado fino no debe contener más del 45% de material retenido entre cualquiera de dos tamices normalizados.

El módulo de finura debe ser mayor que 2.3 y menor que 3.1, y no debe variar más que 0.2 del valor típico de la fuente del agregado se debe rechazar, a menos que se hagan ajustes adecuadas en la proporción entre los agregados fino y grueso.

Los límites granulométricos según la norma ASTM C33 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla III. Limites segun norma ASTM C33

Tamiz	Porcentaje que pasa (en Masa)
9,5 mm-(3/4 pulg.)	100
4,75 mm-(No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 um-(No. 30)	25 a 60
300um-(No. 50)	5 a 30
150 um-(No.100)	2 a 10

En los tamices No.50 y N.100 la cantidad de agregado que pasa a través de ellos afecta la trabajabilidad, la textura superficial, contenido de aire y el sangrado del hormigón.

Para los agregados gruesos los tamices son los siguientes:

9.5 mm (3/8 pulg.), 12.0 mm (1/2pulg.),19.0 mm (3/4pulg.), 37.5 mm (1 1/2 pulg.), 75 mm (3 pulg.) y 150 mm (6pulg.). Según la norma ASTM C 33.

El tamaño máximo del agregado grueso influye en la resistencia que se obtiene sin variar el contenido de cemento, es decir que a mayor es el tamaño máximo del agregado grueso la resistencia va a ser mayor, debido a la que hay una menor área superficial que si trabajásemos con un agregado de tamaño máximo menor.

Debido a esta característica que nos da el usar un tamaño máximo de agregado mayor podemos concluir que a mayor tamaño máximo

de agregado grueso, menor es el contenido de cemento que necesita la mezcla para que obtenga la misma resistencia.

El módulo de finura tanto en agregado fino y grueso se calcula sumando el porcentaje en masa retenido acumulado dividido para 100, los tamices que se toman en cuenta para el cálculo son los de la serie estándar, tanto para el agregado fino como para el agregado grueso véase la tabla 2.4

El módulo de finura es un índice de a finura del agregado, cuanto mayor es el módulo de finura quiere decir que más grueso es el agregado.

La degradación del agregado fino debido a la abrasión hace que el módulo de finura sea aún menor y aumenta la cantidad de material fino.

Tabla IV. Cálculo módulo de finura

Tamiz	Porcentaje de la fracción individual retenida, en masa	Porcentaje acumulado que pasa en masa	Porcentaje retenido acumulado, en masa
9.5 mm (3/8 pulg.)	0	100	0
4.75 mm (No. 4)	3	97	3
2.36 mm (No. 8)	14	83	17
1.18 mm (No. 16)	19	64	36
600 µm (No. 30)	20	44	56
300 µm (No. 50)	25	19	81
150 µm (No. 100)	17	2	98
Fondo	2	0	-
Total	100		291
Módulo de finura			
$291 \div 100 = 2.91$			

2.4.4.3 Peso Volumétrico o Densidad Suelta

Es la masa de un agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen determinado (se incluye el volumen de vacío que existen entre los agregados), el recipiente depende del tamaño máximo del agregado.

2.4.4.4 Densidad relativa

Es la relación entre la masa del agregado y la masa de agua ambos con el mismo volumen.

2.4.4.5 Densidad

La densidad de los agregados que se utiliza en los cálculos de proporcionamiento en los diseño de Hormigón, se determina mediante la multiplicación de la densidad relativa por la densidad del agua. La densidad del agua que se usa es 1000 Kg/m³

2.4.4.6 Absorción y Humedad

La absorción es la cantidad de agua que puede retener el agregado en el interior del mismo y va de la mano con la humedad que posee el agregado superficialmente, en la cuales se pueden tener 4 condiciones de Humedad: Ninguna, menor que la absorción, igual a la absorción y mayor que la absorción.

2.4.4.7 Resistencia de los agregados

La resistencia de los agregados gruesos es muy importante en los diseños de altas resistencias, pero en hormigones convencionales es relevante, no se nota la diferencia entre diseños con agregados que tengan una mayor resistencia que con agregados menos resistentes.

2.5 Agua

2.5.1 Introducción

La mejor agua que se puede utilizar para realizar una mezcla de hormigón es el agua que también es apta para el consumo humano, sin embargo también se pueden utilizar otras aguas que cumplan con las especificaciones que la Norma establece en cuanto a resistencia y fraguado.

2.5.2 Clasificación de Agua de Mezclado

2.5.2.1 Agua de mezclado

Esta agua permite la hidratación del cemento y hacer que la mezcla sea manejable, parte de esta agua hidrata el cemento y la otra parte con el tiempo se evapora. Hay que tener en cuenta que la cantidad de agua que requiere el cemento para su hidratación es alrededor del 25 % del peso del cemento, y otro 15 % aproximadamente hace

que la mezcla sea trabajable, el resto del agua se evapora con el tiempo.

2.5.2.2 Agua Evaporable

El agua que queda puede evaporarse con facilidad a través del tiempo, dependiendo de la temperatura a la que este expuesta el hormigón. El gel de cemento ejerce atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída.

2.5.2.3 Agua de absorción

Es el agua que es retenida tanto por los agregados y a la superficie del gel por fuerzas intermoleculares.

2.5.2.4 Agua Capilar

Es la fracción del agua que ocupa los microporos, se mantiene debido a fuerzas derivadas de la tensión superficial.

2.5.2.5 Agua Libre

Para que el hormigón gane resistencia las partículas de cemento deben hidratarse completamente, la cantidad de agua que necesita para que se desarrolle su reacción química es del 25 % del total de agua que se necesita para obtener una mezcla dócil. El resto de agua es necesaria para su manejabilidad, la absorbe los agregados y otra parte se evapora.

2.5.2.6 Agua de Curado

Esta agua es necesaria para garantizar que las partículas de cemento se hidraten en su totalidad, las normas sugieren que el hormigón este en permanente curado de 5 a 7 días que es el tiempo donde se alcanza un 75% de la resistencia de diseño aproximadamente. Pero mientras más sea el tiempo de curado en el hormigón mejor será su desempeño y garantizara alcanzar la resistencia especificada.

2.6 Aditivos

2.6.1 Introducción

El uso de aditivos mejoro considerablemente el desempeño de los hormigones, desde que con el uso de los mismos ayudo a reducir la relación agua-cemento y las resistencias subieron considerablemente y por lo tanto también hubo un ahorro en los diseños debido a que se lograba reducir los contenidos de cemento en los diseños de mezclas.

Se logró obtener un mayor tiempo de fraguado en el hormigón lo que facilito el traslado hacia distancias mayores para las hormigoneras.

2.6.2 Clasificación de los Aditivos ASTM C494

La Norma ASTM C 494 clasifica los aditivos según la función que realiza de la siguiente manera:

2.6.2.1 Aditivos Reductores de Agua

Estos aditivos entre sus funciones tenemos:

Reducir la relación agua-cemento

Reducir contenidos de cemento

Aumentar el revenimiento de la mezcla.

Estos aditivos pueden lograr la reducción de la mezcla hasta en un 10 % de agua dependiendo de la dosis empleada.

2.6.2.2 Aditivo Retardantes de fraguado

Estos aditivos hacen que los tiempos de fraguado sean más prolongados, se utilizan comúnmente cuando el tiempo de traslado es largo o en la obra necesitan un mayor tiempo de trabajabilidad de la mezcla. Es muy utilizado en clima con temperaturas altas.

2.6.2.3 Aditivos Acelerante de fraguado.

El efecto de estos aditivos además de acelerar el tiempo de fraguado es el aumento de resistencia a tempranas edades, se debe considerar que si se utiliza estos aditivos el tiempo que la mezcla permanezca en estado plástico será reducido por lo que se recomienda utilizar justo antes de vertir el hormigón en el elemento a fundir.

2.6.2.4 Aditivo Reductor de Agua y Retardante

Además de reducir el agua en la mezcla estos aditivos prolongan el tiempo de fraguado, por lo que permiten obtener un mayor tiempo de transporte, manteniendo el revenimiento y la plasticidad de la mezcla.

2.6.2.5 Aditivo Reductor de Agua y Acelerante

Las dos funciones que realizan estos aditivos van de la mano debido a que podemos conseguir una mezcla con un revenimiento mayor y obtener altas resistencias a edades tempranas.

2.6.2.6 Aditivos reductores de agua de Alto Rango

Estos aditivos permiten reducir desde 12 hasta 30 % de agua lo cual permite trabajar con relaciones agua-cemento relativamente bajas ayudándole al hormigón a obtener los beneficios que trae consigo una baja relación a/c: resistencias más elevadas a edades tempranas y tardías y menor penetración de iones cloruros.

2.6.2.7 Aditivos reductores de agua de Alto Rango y Retardante

Además de obtener todos los beneficios que trae consigo obtener una baja relación a/c debido a los aditivos reductores de agua de alto rango también permite obtener tiempos de fraguado o

trabajabilidad aún mayores lo que permitirá que el mismo se pueda transportar y distancias aún mayores sin perder su docilidad.

2.6.2.8 Aditivos para funciones específicas

En la actualidad existen muchos más aditivos que se utilizan dependiendo de lo que se desea conseguir en el elemento que se desea fundir.

Aditivos para funciones específicas:

Aditivos Superplastificantes para concretos Fluidos.

Aditivos de Control de la Hidratación

Aditivos Inhibidores de Corrosión

Aditivos Reductores de Retracción

Aditivos Químicos para la reducción de la reactividad Alkali-Agregado

Aditivos Colorantes

Aditivos a prueba de agua

Aditivos Impermeabilizantes entre otros.

2.6.3 Aditivos Utilizados

2.6.3.1 Sikament MR-CC

Tabla V. Aditivo Sikament MR CC (SIKA, 2012)

Aditivo	Sikament MR CC=Clima Cálido
Descripción:	Sikament MR es un reductor de agua multi-propósito y superplastificante, utilizando la tecnología Sika Viscocrete en base a policarboxilatos. Sikament MR está diseñado para cumplir con la norma ASTM C-494 Tipos A,F,G.
Datos técnicos	
Aspecto	Líquido café
Densidad	1,12 Kg/l Aprox.
Almacenamiento	12 meses en su envase original bien sellado, bajo techo
Presentación	Tambores de 230 Kg
Dosis	Sika recomienda dosis entre 0.3% a 0.6% del peso del cemento si se requiere de agua entre 5 - 12%. Si se requiere mayores reducciones de agua se pueden usar

2.6.3.2 Sikament N100

Tabla VI. Aditivo Sikament N100 (SIKA, 2012)

Aditivo	Sikament N100
Descripción:	Sikament N100 es un aditivo líquido, color café, compuesto por resinas sintéticas. Superplastificante, reductor de agua de alto poder y economizador de cemento. No contiene cloruros. Sikament N100 está diseñado para cumplir con la norma ASTM C-494 TipoF.
Datos técnicos	
Aspecto	Líquido café
Densidad	1,22 kg/l aprox.
Almacenamiento	24 meses en su envase original bien sellado, bajo techo
Presentación	Envase de 10 kg, Tambores de 230 Kg y al granel
Dosis	Sika recomienda dosis como superplastificante entre 0,5% a 1,0% del peso del cemento, como reductor de agua de alto poder ente 1,0% al 2,0% del peso de cemento

2.6.3.3 Sikament HE 200

Tabla VII. Sikament HE 200 (SIKA, 2012)

Aditivo	Sikament HE 200
Descripción:	Sikament HE 200 es un aditivo líquido, superplastificante, reductor de agua de alto poder, con poder acelerante sobre el endurecimiento del hormigón. No contiene cloruros. Diseñado para cumplir con la norma ASTM-C494 Tipo A, F y E.
Datos técnicos	
Aspecto	Líquido color ámbar oscuro
Densidad	1,2 kg/l aprox.
Almacenamiento	24 meses en su envase original bien sellado, bajo techo
Presentación	Envase de 10 kg, Tambores de 240 kg
Dosis	Para elaboración de hormigón de buena plasticidad y alta resistencia inicial dosificar Sikament HE 200 entre 0,5% y el 2,5% del peso del cemento.

2.6.3.4 Sika ViscoCrete 2100

Tabla VIII. Sika ViscoCrete 2100 (SIKA, 2012)

Aditivo	Sika ViscoCrete 2100
Descripción:	Sika ViscoCrete 2100 es un aditivo reductor de agua de alto rango y superplastificante, fabricado con los polímeros policarboxilatos de nuestra Tecnología Sika ViscoCrete. Diseñado para cumplir con la norma ASTM-C494 Tipo A y F.
Datos técnicos	
Aspecto	Traslúcido
Densidad	1,1 g/cc aprox.
Almacenamiento	12 meses en su envase original bien sellado, bajo techo
Presentación	Tambores de 240 kg
Dosis	Sika Ecuatoriana recomienda usar dosis entre 0,19% a 0,9% del peso del cemento. Es particularmente recomendable para el uso con microsilica por su reducción de agua y mayor control de la plasticidad.

2.6.3.5 Sika ViscoCrete 20 HE

Tabla IX. Sika ViscoCrete 20 HE (SIKA, 2012)

Aditivo	Sika ViscoCrete 20 HE
Descripción:	Aditivo reductor de agua de alto rango y superplastificante de alto desempeño y de tercera generación para concretos. No contiene cloruros. Cumple con la norma ASTM C494 Tipo F.
Datos técnicos	
Aspecto	Color ámbar
Densidad	1,09 kg/l aprox.
Almacenamiento	6 meses en su envase original bien sellado, bajo techo.
Presentación	Tambores de 240 kg
Dosis	Dosis 0,5 % y el 1,5 % del peso del cemento, dependiendo de que se emplee como superplastificante o reductor de agua de alto poder.

2.6.3.6 Plastocrete 169 HE

Tabla X. Plastocrete 169 HE (SIKA, 2012)

Aditivo	Plastocrete 169 HE
Descripción:	Aditivo que permite reducir el agua de amasado y acelera las resistencias iniciales y finales del hormigón, modificando leemente el tiempo de fraguado. Contiene cloruros. Cumple con la norma ASTM C494 Tipo E.
Datos técnicos	
Aspecto	Color ámbar oscuro
Densidad	1,32 kg/l ± 1316 kg/l
Almacenamiento	1 año en su envase original bien sellado, bajo techo.
Presentación	Tambor de 230 kg
Dosis	Dependiendo de aceleramiento deseado se dosifica: Del 0,5 % a 3,0 % del peso del cemento.

2.6.3.7 SikaFume

Tabla XI. SikaFume (SIKA, 2012)

Aditivo	SikaFume
Descripción:	Es una adición en polvo fino, color gris, con base en microsilica, que permite aumentar las resistencias mecánicas y químicas de hormigones y morteos endurecidos.
Datos técnicos	
Contenido de SO₂	mayor al 95 %
Superficie esp.	mayor a 30m ² /g
Almacenamiento	60 meses, protegido de la humedad. Almacenar en lugar seco y bajo techo.
Presentación	Fundas de 15 kg.
Dosis	Se dosifica entre el 3 y el 10 % del peso del cemento de la mezcla de acuerdo con los resultados deseados.

CAPÍTULO 3

3 Diseño de Mezcla de Hormigón de Alto Desempeño.

Las proporciones de mezcla para un hormigón de alto desempeño son un proceso más exhaustivo que el diseño de mezclas para hormigón convencional. En este proceso de selección de materiales y aditivos no es suficiente con lograr tener una relación agua/cemento baja sino también lograr obtener una mejor trabajabilidad sin afectar el fraguado del mismo además de mejores propiedades mecánicas. (Steven H. Kosmatka, 2004)

3.1 Relación Agua-Material Cementante

Es la masa del agua dividido para el contenido de cemento que se utiliza en la mezcla para un metro cubico de hormigón, esta relación se

eligió dependiendo del tipo de exposición a la que está expuesta el hormigón.

Tabla XII. Relación Agua-Material Cementante Máxima y Resistencia de Diseño Mínima para varias condiciones de Exposición. **(ACI201.2R-08, 2014)**

Condición de exposición	Relación agua-material cementante máxima por masa de concreto	Resistencia a compresión de diseño mínima f'_{cr} kg/cm ² (MPa) [lb/pulg ²]
Concreto protegido de la exposición a congelación-deshielo, de la aplicación de sales de deshielo o de sustancias agresivas	Elija la relación agua-material cementante basándose en la resistencia, trabajabilidad y requisitos de acabado	Elija la resistencia basándose en los requisitos estructurales
Concreto que se pretende que tenga baja permeabilidad cuando expuesto al agua	0,50	280(28)[4000]
Concreto expuesto a congelación-deshielo en la condición húmeda y a descongelantes	0,45	320(31)[4500]
Para protección contra la corrosión del refuerzo (armadura) del concreto expuesto a cloruro de las sales descongelantes, agua salobre, agua del ar o rociado de estas fuentes.	0,40	350(35)[5000]

Tabla XIII. Relación Agua-Material Cementante Máxima y Resistencia de Diseño Mínima para varias condiciones de Exposición **(ACI201.2R-08, 2014)**

Exposición a sulfatos	Sulfatos solubles (SO ₄) presentes en el suelo porcentaje en masa	Sulfatos (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de cemento	Relación agua-material cementante, máxima en masa	Resistencia a compresión de diseño mínima, f'_{c} kg/cm ² MPA [lb/pulg ²]
Insignificante	Menor que 0,10	Menor que 150	Ningún tipo especial necesario	-	-
Moderada	0,10 a 0,20	150 a 1500		0,50	280(28)[4000]
Severa	0,20 a 2,00	1500 a 10,000		0,45	320(31)[4500]
Muy Severa	Mayor que 2,00	mayor que 10,000		0,40	360(35)[5000]

De la tabla 3.2 se eligió la relación agua-material cementante máxima para la condición más crítica.

De esta manera la relación **a/c máxima = 0.40**, para que el hormigón planteado en la presente investigación tenga un buen desempeño en la condición más críticas descritas en la tabla 3.1 y 3.2.

3.2 Proporción de agregados

Debido a que los agregados ocupan el volumen más grande que los otros materiales que componen el hormigón, son considerados una parte fundamental para lograr las características deseadas en los hormigones convencionales y más aún en los hormigones de alto desempeño.

Proporciones de Agregados Finos

Los agregados finos tienen una mayor influencia en la mezcla que un agregado grueso, debido a que la pasta de cemento debe cubrir la superficie de los mismos. Además, que la demanda de agua se ve afectada directamente por la cantidad de finos que utilice la mezcla, esto es a más agregado fino mayor es la cantidad de agua que se necesita la mezcla y por consecuencia de aumentar la relación agua – cemento la resistencia del hormigón disminuye.

Proporciones de Agregados Gruesos

La cantidad de agregado grueso depende directamente del módulo de finura que tenga el agregado fino, esto lo podemos observar la tabla 3.3.

Tabla XIV. Volumen de Agregado Grueso por unidad de volumen de hormigón (ACI, 2014)

Nominal maximum sieve of aggregate, mm	Volume of dry-rodded coarse aggregate per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate			
	2,4	2,6	2,8	3
9,5	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,8	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Volumes are based on aggregates in dry-rodded condition as described in ASTM C 29.

These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete such as required for concrete pavement construction they may sometimes be required when placement is to be by pumping, they may be reduced up to 10 percent. See ASTM Method 136 for calculation of fineness modulus.

3.3 Contenido de Cemento y adiciones.

Luego de establecer la relación agua cemento, se evaluó la cantidad de cemento óptima para que desarrolle mejor sus propiedades mecánicas.

Dosificaciones con mayores contenidos de cemento aumenta la demanda de agua, por consiguiente es necesario aplicar un curado adecuado al hormigón.

3.4 Cantidades de aditivos

Para que un hormigón tenga una trabajabilidad, consistencia y fraguado adecuado las relaciones agua cemento son mayores a 0.45 sin la ayuda de aditivos reductores de agua, es por este motivo que para desarrollar hormigones con una baja relación agua/cemento, se hace necesario utilizar aditivos superplastificantes, reductores de agua de alto rango entre otros.

De otra manera no se logra reducir la cantidad de agua deseada y tampoco se desarrollarían las propiedades mecánicas deseadas.

Además, podríamos añadirle ceniza volante. Microsílice o humo de sílice para que se desarrolle aún mejor sus propiedades.

3.5 Resistencia Especificada.

En la presente investigación se especifica la resistencia como sigue:

MR= 4.5 MPa a las 24 horas.

Lo que a su vez se podría concluir que (la resistencia a la compresión sea aproximadamente de 300 a 350Kg/cm² a las 24 horas y su

resistencia la tensión por el método brasileño aproximadamente de 3.4MPa) esto se lo definirá dependiendo de los resultados obtenidos.

3.6 Preparación, mezclado, transporte y colocación del hormigón

Parte fundamental para que los hormigones de alto desempeño puestos en obras alcancen las características que lograron en los ensayos de laboratorio, es realizar una preparación y mezclado con un estricto control de humedades de los agregados y cantidad de agua que se le agrega a la mezcla para que se garantice la relación a/c planteada en la dosificación dada por el laboratorio, ya que si aumenta esta relación la resistencia especificada a la edad esperada no se desarrollaría, en este caso a las 24 horas.

También, debido a los altos contenidos de cemento es recomendable tener un buen control en la temperatura de la mezcla para que exceda los límites permisibles de la norma los cuales los podemos encontrar en la (INEN 1855 Hormigón Premezclado Requisitos).

El transporte y la colocación del hormigón son similares a los utilizados para el hormigón convencional así que se sigue el mismo procedimiento.

Se recomienda que en todo el proceso de producción del hormigón hasta su colado en obra se realice con personal calificado.

3.7 Colocación

Debido al desarrollo de una alta resistencia a temprana edad, el tiempo de fraguado del hormigón es reducido, por lo que se recomienda planear un cronograma de hormigonado adecuado y disponer de todos los equipos para cumplir dicho cronograma.

Se recomienda seguir un proceso de colocación conforme lo dice la NEC-SE-HM en la sección **9.5.2 Colocación del Hormigón:**

“Se deben emplear los métodos de colocación adecuados de tal manera que se pueda mantener al hormigón uniforme y libre de imperfecciones visibles. Los métodos apropiados de colocación evitan la segregación y las áreas porosas, impiden el desplazamiento de los encofrados o acero de refuerzo y aseguran una firme adherencia entre las capas, minimizando el agrietamiento por contracción”. ((NEC), 2014)

3.8 Compactación

Esta se la debe realizar inmediatamente luego de colocarse mediante herramientas manuales, vibradoras mecánicas entre otros para garantizar una buena adherencia al acero y sin oquedades en el mismo.

Se recomienda seguir el procedimiento de compactación, ya sea manual o mecánico conforme lo establece la NEC-SE-HE en la sección 9.5.3 Compactación:

“Se deben aplicar los vibradores sistemáticamente a intervalos cortos, de modo que las áreas vibradas del hormigón se traslapen. Para hormigón estructural se debe asegurar que la inserción del vibrador sea por un lapso de 5 a

15 segundos y que los puntos de vibración estén separados de 45 a 75 cm". ((NEC), 2014)

Los vibradores internos deben colocarse verticalmente, en toda la profundidad de la capa que está siendo colocada. Nunca debe arrastrarse el vibrador sobre el hormigón.

3.9 Acabado

Todas las superficies de hormigón deben cumplir los requisitos descritos en el documento ACI 302.IR previamente en el contrato se debe especificar claramente el acabado que se desea.

3.10 Curado

Se recomienda seguir un procedimiento de curado conforme lo establece la NEC-SE-HM en la sección **9.6.1 Curado:**

“Las superficies expuestas de hormigón que contienen cemento hidráulico deben mantenerse húmedas por el tiempo especificado en cada proyecto. Si no se dispone de esta especificación deben mantenerse húmedas por al menos de 5 a 7 días. Mientras mayor es la cantidad de humedad retenida dentro del hormigón mayor es la eficiencia del curado”. ((NEC), 2014)

CAPÍTULO 4

4 Ensayos Preliminares

4.1 Determinación del Tiempo de Fraguado, Método de Vicat INEN 158

4.1.1 Objetivo General

Determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante la aguja de Vicat.

4.1.2 Características Generales

El tiempo de fraguado puede variar dependiendo de los tipos de cemento que se utilicen, en las normas tienen tiempos de fraguado que los cementos deben de cumplir para asegurar de que cumplan la calidad esperada.

En la Normativa INEN 2380 específica que el tiempo de fraguado inicial por el método de Vicat no debe ser menor de 45 minutos, ni mayor de 420 minutos a una temperatura y humedad relativa controlado en laboratorio.

4.1.3 Equipo a usarse:

- Balanza.
- Aparato de Vicat.
- Cronometro.
- Vasos Graduados de 200 cm³ o 250 cm³.
- Mezcladora de paleta.
- Anillo cónico, fabricado de un material rígido, no corrosible, no absorbente.

4.1.4 Materiales

- Muestra de 500 gr de cemento
- Agua destilada

4.1.5 Procedimiento

Pesar 500 gr de cemento evitando el cemento que se haya formado grumos.

Fotografía 4.1 Pesar Cemento en la balanza de precisión



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Pesar una cantidad de agua hasta que la pasta este en su consistencia normal, “cuando la varilla penetre $10\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ mediante el aparato de Vicat” , el tiempo de mezclado se lo debe realizar en un tiempo de 3 minutos.

Luego de que la pasta esté preparada, rápidamente se forma una bola y láncela 6 veces de una mano a la otra manteniendo una separación de aproximadamente 150 mm, presionar la bola con la palma de la mano, dentro del extremo más ancho del anillo cónico, llenando completamente el anillo con la pasta. Retirar el exceso del lado más ancho con un solo movimiento de la palma de la mano.

Colocar el anillo con su extremo más ancho en una placa no absorbente, retire el exceso de pasta con una espátula. Luego colocar el espécimen de ensayo en el cuarto de curado.

Dejar que el espécimen para tiempo de fraguado, descansa en el cuarto de curado 30 minutos luego del moldeo y proceder a tomar mediciones cada 15 minutos hasta que se obtenga la penetración de 25 mm o menos mediante el aparato de Vicat. El tiempo transcurrido entre el contacto inicial del cemento y el agua y cuando la penetración es de 25 mm se conoce como tiempo de fraguado inicial.

A la primera medición de la penetración que no marque en la superficie un círculo completo con la aguja este será la última medición. EL tiempo de fraguado Final es el tiempo transcurrido entre el contacto inicial de cemento con el agua y esta última medición.

4.2 Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cubos de Mortero.

4.2.1 Objetivo General

Determinar la resistencia a la compresión de Morteros hechos con Cemento Hidráulico usando cubos de 50 mm de arista.

4.2.2 Características Generales

Este ensayo principalmente se lo realiza para determinar el cumplimiento con las especificaciones en cuanto a la resistencia que debe tener el cemento y otros morteros. Consiste en aplicar una carga a especímenes cúbicos de mortero hasta que ocurra la rotura y calcular la resistencia dividiendo la carga ultima sobre el área superior del cubo.

4.2.3 Equipo a usar

- Balanzas.
- Vaso de precipitación.
- Molde de metal para muestras cubicas de 50mm de arista.
- Mezcladora tazón y paleta.
- Mesa de fluidez y molde de fluidez.
- Pisón con sección transversal 13mm x 25 mm y una longitud de 120 mm a 150 mm con bordes rectos.
- Espátula.

- Mesa de Flujo
- Prensa hidráulica con una precisión de $\pm 1.0 \%$.

4.2.4 Materiales

- Arena de sílice natural para evaluar el cemento o arena con la que se evaluará la resistencia de morteros.
- Agua potable.
- Cemento.
- Aditivos (en el caso de otros morteros).

4.2.5 Procedimiento

Pesar el cemento y la arena manteniendo una relación de una parte de cemento por 2.75 partes de arena normalizada graduada. Utilizar una relación agua-cemento de 0.485.

Colocar toda el agua de mezclado en el tazón.

Añadir el cemento al agua y arrancar la mezcladora a velocidad baja por 30 segundos.

Fotografía 4.2 Mezcla de Mortero



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Añadir la cantidad de arena lentamente durante un periodo de 30 segundos, manteniendo la velocidad de mezclado baja 140rpm durante 30 segundos.

Detener la mezcladora y cambiar a velocidad media 285 rpm y mezclar por 30 segundos.

Detener la mezcladora y dejar que el mortero repose 90 segundos, durante los primeros 15 segundos empujar el mortero hacia el fondo, luego cubrir el tazón.

Terminar de mezclar por 60 segundos a velocidad media 285 rpm.

Limpiar y secar cuidadosamente la mesa de flujo y colocar el molde de flujo en el centro. Llenar en dos capas de 25 mm cada una y compactar 20 veces con el compactador. Luego de un minuto

levantar el molde de flujo e inmediatamente dejar caer la mesa 25 veces en 15 segundos.

Fotografía 4.3 Mesa de flujo



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Medir con el calibrador las 4 mediciones a lo largo de las cuatro líneas subdivididas en la mesa de flujo y registrar.

Fotografía 4.4 Fluidez de $110\% \pm 5\%$



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Depositar el mortero en la mezcladora y mezclar durante 15 segundos

Llenar los moldes en un tiempo máximo de 2 minutos con 30 segundos de haber realizado la amasada del mortero. El llenado se lo realiza en 2 capas de 25mm y apisonar el mortero en cada compartimento 32 veces en 10 segundos en 4 rondas. Retirar con una espátula el mortero que ha rebosado.

Almacenar los especímenes en el cuarto de curado por 24 horas, luego almacenar en agua con cal los especímenes.

Fotografía 4.5 Cubos de mortero endurecido



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Ensayar las muestras inmediatamente después de retirarlas del cuarto de curado. Todos los especímenes deben ensayarse dentro

de la tolerancia permisible de tiempo que se indica en la siguiente tabla.

Tabla XV. Tolerancia en el ensayo según la edad de la probeta

Edad del ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	$\pm 1/2$ h
3 días	± 1 h
7 días	± 3 h
28 días	± 12 h

Sacar la muestra del agua y secar hasta una condición de superficie seca, si hay una curvatura apreciable esmerilar la cara hasta lograr que la superficie sea plana.

Pesar lo especímenes y medir sus lados.

Fotografía 4.6 Medición de cubos con el calibrador



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Colocar los especímenes cúbicos sobre la máquina de ensayo garantizando que la carga se aplique a ambas caras del cubo y que estén en contacto con la superficie plana del molde.

Fotografía 4.7 Cubos en máquina de ensayo



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Aplicar una velocidad de carga que se encuentre entre 900 a 1800 N/s, y mantener esta carga en la segunda mitad de la carga antes de

la falla del espécimen. Registrar la carga máxima indicada por la máquina de ensayo.

Fotografía 4.8 Rotura de cubo de mortero



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

4.3 Abrasión y Degradación Norma Inen 860 – ASTM C 131

4.3.1 Objetivo General

Determinar el valor de abrasión de los agregados gruesos.

4.3.2 Características Generales

La abrasión de los agregados gruesos es a menudo usado con un índice general de la calidad de los mismos. Debido a que si los agregados tienen una baja resistencia a la abrasión estos podrían aumentar la cantidad de finos en el hormigón y aumentar la demanda de agua durante el mezclado. El ensayo más común de resistencia a la abrasión es el ensayo de abrasión Los Ángeles.

4.3.3 Equipo a usar

- Máquina de los Ángeles
- Tamices
- Balanza
- Horno

4.3.4 Materiales

- Carga Abrasiva
- Agregado grueso

4.3.5 Procedimiento

Lavar el agregado grueso antes de realizar el ensayo para quitar todo el polvo o fino del mismo.

Tamizar el agregado en los tamaños requeridos para gradar la muestra de ensayo según una de las gradaciones que se especifican en la siguiente tabla.

Tabla XVI. Masa requerida de los tamices dependiendo de la gradación

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS			
		(g)			
Pasante	Retenido	Gradaciones			
		A	B	C	D
37,5 mm	26,5 mm	1250±25			
26,5 mm	19 mm	1250±25			
19 mm	13,2 mm	1250±10	2500±10		
13,2 mm	9,5 mm	1250±10	2500±10		
9,5 mm	6,7 mm			2500±10	
6,7 mm	4,75 mm			2500±10	
4,75 mm	2,36 mm				5000±10
	Total	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

De acuerdo a la gradación del material la carga abrasiva debe cumplir lo indicado en la siguiente tabla

Tabla XVII. Masa de la carga abrasiva dependiendo de la gradación

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Colocar la muestra y la carga en la máquina, girar la máquina 500 revoluciones a una velocidad entre 30 r/min y 33 r/min.

Tamizar la porción fina por el tamiz de 1.7 mm y lavar el material más grueso que 1.7mm y secarlo al horno a 110°C ±5°C. Determinar la masa con aproximación de 1 g.

4.4 Determinación de las Impurezas Orgánicas en el Árido Fino para Hormigón Norma INEN 855

4.4.1 Objetivo general

Determinar aproximadamente el contenido de impurezas orgánicas en el árido fino para mortero y hormigón.

4.4.2 Características generales

Este ensayo determina la presencia o ausencia de materia orgánica en el árido fino.

Consiste en mezclar una muestra representativa del agregado fino con una solución normalizada de hidróxido de sodio y dejar reposar por 24 horas para proceder a comparar el color del líquido que sobrenada en el recipiente con un comparador de colores normalizado.

4.4.3 Equipos a utilizar

Botellas de vidrio: graduadas e incoloras con capacidad de 240 cm³ a 470cm³.

Comparador de colores normalizados: De acuerdo a la escala de Gardner como se muestra en la siguiente tabla:

Fotografía 4.9 Comparador Normalizado

Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Tabla XVIII. Escala de Gardner

Color normalizado escala de Gardner	Número de orden en el comparador
No.	
5	1
8	2
11	3(normalizado de referencia)
14	4
16	5

Fuente: INEN 855

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

4.4.4 Materiales

Solución de hidróxido de sodio al 3 % como reactivo: Disolver 3 partes en masa de hidróxido de sodio grado reactivo en 97 partes de agua.

Muestra para ensayo de aproximadamente 450 g.

4.4.5 Procedimiento

Depositar la muestra de árido fino en la botella de vidrio graduada hasta un volumen de 130 cm³.

Añadir la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen de la solución y el árido sea aproximadamente 200cm³.

Fotografía 4.10 Mezcla de arena con hidróxido



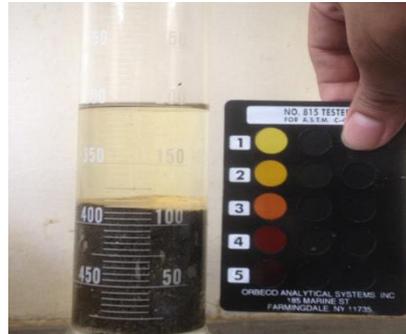
Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Tapar la botella, agitar y dejar reposar por 24 horas.

Luego de 24 horas registrar el color de acuerdo al número de orden en el comparador.

Fotografía 4.11 Comparación de color



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

4.5 Granulometría de Materiales Norma INEN 696- ASTM C 136

4.5.1 Objetivo General

Determinar la distribución de los agregados, a través de los tamices de serie estándar y analizar su módulo de finura para agregados finos y gruesos.

4.5.2 Características Generales

Este ensayo se utiliza para conocer la graduación de los diferentes agregados que se utilizarán, tanto para la realización de hormigón como para otras aplicaciones como mejoramiento de suelos, bases estabilizadas entre otras.

En este ensayo no se considera la determinación del material que pase por el tamiz de 75um (No.200).

Dependiendo del tamaño de los agregados se clasifica en agregados finos y gruesos, de los cuales para la realización del ensayo de granulometría se deben obtener muestras representativas de acuerdo al tamaño de los mismos.

Para Árido fino se debe obtener como mínimo una cantidad de 300 gramos luego de ser secado el material.

Mientras que para Árido grueso se debe obtener un muestra de material de acuerdo a la tabla 4.5.

Tabla XIX. Masa mínima de muestra dependiendo del TMN.

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (Kg)
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: ASTM C 136

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Si se da el caso, de que el árido grueso y fino provienen mezclados el tamaño de la muestra es el mismo del utilizado en el árido grueso.

4.5.3 Equipo a utilizar

- Balanza con precisión de 0.1 g
- Tamices de la serie estándar
- Agitador Mecánico
- Horno con la capacidad de mantener la temperatura a 110°C $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Bandejas

4.5.4 Materiales

- Una muestra de 2 Kg para el agregado de tamaño máximo nominal de 12.5 mm.
- Una Muestra de 5 Kg para el agregado de tamaño máximo nominal de 19 mm.
- Una Muestra de 500 gr para la arena natural.
- Una Muestra de 500 gr para la arena de río.

4.5.5 Procedimiento

Secar las muestras en el horno a una temperatura de 110°C $\pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar una masa constante.

Seleccionar los tamices de cuerdo al material que se va a ensayar, colocar los tamices de forma que el de mayor tamaño se coloque en

la parte superior y el de menor abertura abajo, además de colocar un bandeja para el material obtener el material mas fino que pase por los tamices que solicita las especificaciones.

Colocar los tamices en el agitador mecánico. Se utilizó el agitador como se muestra en la Figura 4.12 para tamizar las arenas y para los agregados gruesos.

Fotografía 4.12 Agitador mecánico



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Encender el equipo durante un tiempo que permita y garantice que no más de 1% en masa del material retenido en algún tamiz puede seguir pasando por el respectivo tamiz.

Luego de terminar de tamizar, proceder a pesar el material retenido en cada tamiz y anotar los pesos en el formato respectivo.

4.6 Determinación de la Densidad y Absorción para Agregados Finos Norma INEN 857-ASTM C128

4.6.1 Objetivo General

Determinar la Densidad, densidad relativa y absorción del agregado fino.

4.6.2 Características Generales

La densidad relativa es la relación entre la masa del agregado y la masa del agua ambos con el mismo volumen, de aquí para obtener la densidad del árido multiplicamos este valor por la densidad del agua.

La absorción del árido es una medida de la cantidad de agua que puede retener el árido en su interior y esto afecta directamente a la demanda de agua de la mezcla de hormigón.

4.6.3 Equipo a utilizar

- Balanza con precisión de 0.1 g.
- Picnómetro
- Molde y compactador para ensayo de humedad superficial
- Horno con la capacidad de mantener la temperatura a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

4.6.4 Materiales

- Muestras de mínimo 500 gramos para cada tipo de arena que se utilice
- Agua destilada

4.6.5 Procedimiento

En una bandeja colocar una muestra de mínimo 500 gramos y secarla en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Fotografía 4.13 Muestra para colocar en Horno



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Sacar la muestra del horno, luego de que se enfríe sumergirla en agua hasta que el árido se sature por $24\text{h} \pm 4\text{h}$.

Fotografía 4.14 Muestra sumergida en agua



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Decantar el exceso de agua procurando que no se pierda los fino y extender la muestra sobre una superficie plana no absorbente, asegure que el secado sea homogéneo y realice el ensayo para determinar la humedad superficial.

Mantener el molde sobre una superficie lisa con el diámetro mayor hacia abajo.

Llenar el molde con el material y compactarlo con 25 golpes ligeros a una altura aproximada de 5 mm sobre la superficie del árido, distribuidos uniformemente, luego llene el molde con material adicional si es necesario.

Fotografía 4.15 Árido en estado SSS

Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Remover el árido fino caído alrededor del molde y levántelo verticalmente

Si aún existe humedad, el árido fino mantendrá la forma del molde, si no es así se desmoronara fácilmente esto quiere decir que se encuentra en estado SSS.

Pesar una muestra de 500 gramos en estado SSS, colocar en el Picnómetro con la ayuda de un embudo y llenar hasta aproximadamente 90 % de su capacidad.

Agitar el picnómetro manualmente: rodar, invertir y agitar para eliminar burbujas de aire.

Ajustar la temperatura del picnómetro y su contenido a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, y llevar el nivel de agua hasta la marca de calibración.

Fotografía 4.16 Llenado hasta la marca de calibración

Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Retirar el árido del picnómetro y secarlos a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, dejar que se enfríe y determinar su masa, también determinar la masa del picnómetro con agua hasta la marca de calibración a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

4.7 Determinación de la Densidad y Absorción para Agregados**Gruesos Norma INEN 857-ASTM C 127****4.7.1 Objetivo General**

Determinar la densidad, densidad relativa y absorción del agregado grueso.

4.7.2 Características Generales

La densidad relativa es la relación entre la masa del agregado y la masa del agua ambos con el mismo volumen, de aquí para obtener

la densidad del árido multiplicamos este valor por la densidad del agua.

La absorción del árido es una medida de la cantidad de agua que puede retener el árido en su interior y esto afecta directamente a la demanda de agua de la mezcla de hormigón, se expresa como un porcentaje de la masa seca.

4.7.3 Equipo a utilizar

- Balanza con precisión de 0.5 g
- Canasta de alambre con una abertura de 3.35 mm
- Tanque de agua Hermético
- Tamiz de 4.75mm (No 4)
- Horno con la capacidad de mantener la temperatura a 110°C ±5°C
- Bandejas

4.7.4 Materiales

- Una Muestra de Material como indica la Tabla 4.6.

Tabla XX. Masa mínima para ensayo dependiendo del TNM.

Tamaño nominal máximo, Aberturas mm	Masa mínima de la muestra para ensayo (Kg)
12,5 o menor	1
19	2
25	5
37,5	10
50	15
63	20
75	35
90	60
100	100
125	150

Fuente: ASTM C 127

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

4.7.5 Procedimiento

En una bandeja colocar la masa de la muestra mínima para ensayar y secarla en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Dejar que se enfríe y proceder a sumergirla en agua hasta que el árido se sature por $24\text{h} \pm 4\text{h}$.

Retirar la muestra del agua y eliminar toda lámina de agua visible.

Determinar la masa de la muestra de ensayo en condición SSS.

Después determinar la masa en aire y luego colocar la muestra en estado SSS en el recipiente de la muestra y determinar su masa en agua a $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Secar la muestra en el horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, luego procesa determinar su masa.

4.8 Determinación de la Masa Unitaria y el Porcentaje de Vacíos

Norma INEN 858-ASTM C 29

4.8.1 Objetivo General

Determinar la masa unitaria de los agregados, en condición compactada o suelta y calcular los vacíos que se forman entre los agregados finos y agregados gruesos.

4.8.2 Características Generales

Este método es muy utilizado para determinar el porcentaje de vacíos y peso volumétrico que son necesarios para la selección de las dosificaciones en mezclas de hormigón.

Se selecciona el procedimiento como sigue:

El procedimiento por paladas para la masa unitaria suelta solo se utiliza cuando se estipule específicamente, caso contrario se lo determina dependiendo del tamaño máximo del agregado.

Para agregados de tamaño máximo de 37.5 mm o menos se determina la masa compactada por el procedimiento de varillado y para agregados de mayor tamaño y que no excedan 125 mm con el procedimiento de sacudidas.

4.8.3 Equipo a utilizar

- Horno con la capacidad de mantener la temperatura a 110°C $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Balanza con precisión de 0.1% con graduaciones de al menos 0.05Kg.
- Varilla de compactación
- Molde metálico dependiendo del tamaño máximo del agregado indicado en la Tabla 4.7

Tabla XXI. Capacidad de los moldes

Tamaño máximo nominal del árido	Capacidad nominal del molde*
mm	m³(litros)
12,5	0,0025(2,8)
25	0,0093(9,3)
37,5	0,014(14)
75	0,028(28)
100	0,070(70)
125	0,100(100)

*Capacidad del molde a utilizar para ensayar áridos de un tamaño máximo nominal igual o menor que el correspondiente en la lista. E volumen real del molde debe ser de al menos el 95% del volumen nominal indicado.

Fuente: ASTM C 29

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

4.8.4 Materiales

- Una muestra de aproximadamente 125 % a 200 % respecto de la cantidad necesaria para llenar el molde.

4.8.5 Procedimiento

Procedimiento por varillado: Llenar el molde en 3 capas aproximadamente iguales y compactar con 25 golpes de la varilla de compactación distribuidos sobre la superficie uniformemente. En la última capa llenar el molde a rebosar y nivelar la superficie con una regleta o con la mano, determinar la masa del molde y de su contenido con una aproximación de 0.05 Kg.

Procedimiento por sacudidas: Colocar el molde sobre una base firme, llenar el molde en 3 capas iguales, en cada una de las capas dejar caer el molde 50 veces desde una altura de 50 mm. Nivelar la superficie del agregado con una regleta o con la mano, luego proceder a determinar la masa del molde y de su contenido con una aproximación de 0.05 Kg.

Procedimiento por paladas: Llenar el molde a rebosar median una pala o cucharón, en una solo capa coloque el agregado a una altura no superior de 50 mm por encima del molde, nivelar la superficie con una regleta o con la mano, luego determinar la masa del molde y de su contenido con una aproximación de 0.05 Kg.

4.9 Determinación del Contenido Total de Humedad en Agregados Finos y Gruesos. Norma INEN 1573

4.9.1 Objetivo general

Determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en los agregados finos y gruesos, el correspondiente a la humedad superficial y la humedad contenida en los poros del agregado.

4.9.2 Características generales

Este ensayo tiene una buena exactitud en la medición de la humedad en los agregados, lo cual es usado para ajuste en las cantidades de agregado y agua en la realización de una mezcla de hormigón. Se debe tener en cuenta que no mide variaciones que se puedan presentar en los diferentes lotes de agregados.

Consiste en obtener una muestra representativa de agregado y pesarlo en una bandeja, someter el mismo a una temperatura de $110^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ para que pierda toda la humedad que se encuentre en el mismo. La humedad se expresa en porcentaje de agua evaporada con respecto de la masa seca.

4.9.3 Equipos a utilizar

- Balanza con precisión de 0.1% de la carga de ensayo.

- Horno con la capacidad de mantener la temperatura a 110°C $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Recipiente para la muestra: Que no le afecte el calor.
- Agitador: Una cuchara de metal.

4.9.4 Materiales

- Una muestra del árido para determinar la humedad de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla XXII. Masa de muestra para la obtención del contenido de Humedad

Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Masa de la muestra de áridos de densidad normal, mínimo (Kg)
4,75	0,5
9,5	1,5
12,5	2
19	3
25	4
37,5	6
50	8
63	10
75	13
90	16
100	25
150	50

Fuente: INEN 1573

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

4.9.5 Procedimiento

Determinar la masa de la muestra con una aproximación de 0.1%.

Fotografía 4.17 Peso de Agregados Húmedos



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Colocar la muestra en el horno a una temperatura controlada sin cambios de temperatura brusco para que no afecte a los agregados por un periodo de 24 horas.

Sacar la muestra del horno y dejar enfriar por 1 hora, luego registrar el peso de la muestra más la bandeja y luego el peso de la bandeja sola.

Fotografía 4.18 Peso de agregados secos y peso de la bandeja



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

4.10 Medición y análisis de la Generación de Temperatura en un Mortero de Cemento utilizando los equipos HolcimCone y HolcimHeat.

4.10.1 Objetivos Generales

Determinación de las características del cemento en términos de demanda de agua y resistencia.

Determinar la Fluidez con el HolcimCone

Determinar la generación de Temperatura con el HolcimHeat.

4.10.2 Objetivos específicos

Determinar la pérdida de trabajabilidad.

Entender la interacción entre cemento y aditivo.

Estimar el tiempo de fraguado del mortero de cemento.

4.10.3 Características Generales

El HolcimCone es una herramienta para evaluar el desempeño del cemento y el rendimiento del producto percibido para los usuarios finales.

Los resultados dependen de las características físicas y químicas del cemento cuando se lo realiza con una arena normalizada, también se

aplica para evaluar las características de diversos morteros de cemento.

Se pueden determinar el porcentaje de reducción de agua de los diferentes aditivos en el mercado en sus diferentes dosis y obtener la trabajabilidad deseada.

El HolcimHeat, es un calorímetro semiadiabático en forma de una maleta como una caja, el cual está basado en una solución de calorímetro de Estados Unidos que mide el calor de Hidratación de pasta de cemento y muestras de mortero.

Con esta herramienta se puede estimar el tiempo de fraguado de pasta, mortero y hormigón, además de determinar si un aditivo es incompatible con algún tipo de cemento. Además se puede observar la diferencia en el desprendimiento de temperatura de varios morteros y analizar su comportamiento.

4.10.4 Equipo a Utilizar

- Mezcladora Hobart
- Holcim Cone
- Holcim Heat

4.10.5 Materiales

- Cemento Holcim tipo HE

- Arena de río.
- Agua
- Aditivos

4.10.6 Procedimiento

Tener la cantidad de materiales necesarios para realizar la prueba obtenidos de la hoja de cálculo para un volumen máximo de 6 litros.

Poner el cemento en la mezcladora Hobart y comience a mezclar a velocidad 1 por 2 minutos, agregue el 90 % de agua (100% si no se usa aditivo)

Parar la mezcladora por un minuto y limpie con la espátula el cemento pegado en la mezcladora.

Comience a mezclar por 3 minutos mientras introduce el 10% restante de agua con los aditivos, luego de los 30 primeros segundos agregue la arena.

Fotografía 4.19 Mezcla de Mortero



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Parar la mezcladora por un minuto y limpie con la espátula el cemento pegado en la mezcladora, luego siga mezclando en velocidad uno por dos minutos.

Medir la temperatura

Medir el flujo con el HolcimCone. Llenar en dos capaz iguales con 10 inserciones con el piston. Levantar el cono en un tiempo de 2 segundos y anotar el flujo.

Fotografía 4.20 Prueba de flujo con HolcimCone



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Fotografía 4.21 Medición de Flujo a los 10 minutos



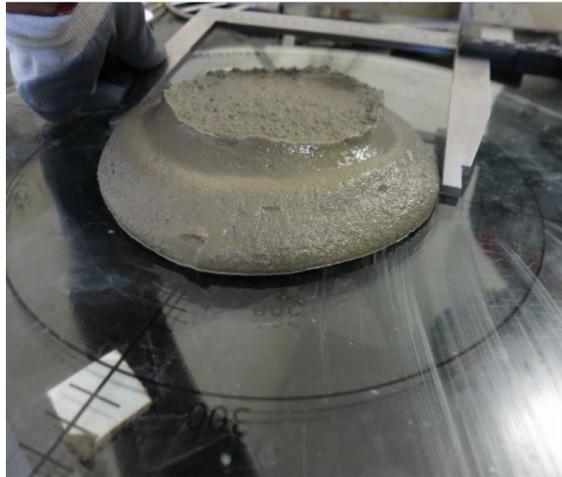
Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Luego de medir a los 10 minutos colocar el mortero en la mezcladora hobbart y cúbralo por 35 minutos.

A los 45 minutos volver a realizar la medición de la temperatura y la medición del flujo con el HolcimCone.

Fotografía 4.22 Medición de Flujo a los 45 minutos



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

CAPÍTULO 5

5 Ensayo para la Elaboración del Hormigón

5.1 Método Estándar para el Revenimiento de Hormigón de Cemento Hidráulico Norma INEN 1578 – ASTM C 143

5.1.1 Objetivo general

Determinar el asentamiento del hormigón en estado plástico para hormigones con agregado de tamaño máximo 37.5mm.

5.1.2 Características generales

Este ensayo permite conocer la consistencia del hormigón, consiste en llenar con hormigón fresco un molde con forma de cono truncado con una altura de 30 cm. La pérdida de altura que se produce cuando se retira el molde define la consistencia de la mezcla.

5.1.3 Equipos a utilizar

- Molde: Debe tener la forma de un cono truncado con altura de 300 mm, diámetro superior de 100 mm y diámetro inferior de 200 mm.
- Varilla: De acero, lisa, 16mm de diámetro con punta redondeada.
- Flexo metro o regla marcada con incremento de 5 mm o menos.
- Cucharón: Con un tamaño para que se obtenga una cantidad de hormigón representativa.

5.1.4 Materiales

- Muestra de hormigón en estado fresco.

5.1.5 Procedimiento

Humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie humedecida previamente y no absorbente o sobre una placa base y fijarlo a la misma.

Llenar el molde en 3 capas de volumen igual distribuyendo uniformemente el hormigón sobre el molde. Compactar cada capa con 25 penetraciones utilizando la varilla de compactación.

Al llenar la última capa mantener un excedente de hormigón antes de iniciar la compactación.

Inmediatamente luego de compactar la última capa, enrasar la superficie con la varilla.

Antes de retirar el molde limpiar la superficie alrededor de la base del cono. Luego retirar el molde en un tiempo de 5 ± 2 sg. En dirección vertical.

Medir la diferencia de altura entre el molde y el centro desplazado de la muestra y registrarlo.

Fotografía 5.1 Medición de Asentamiento



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

5.2 Medición de Temperatura en Hormigón Fresco Norma ASTM C 1064.

5.2.1 Objetivo general

Determinar la temperatura de un hormigón en estado fresco con una aproximación de 0.5 °C.

5.2.2 Características generales

La temperatura es uno de los primeros parámetros a evaluar en el hormigón, conociéndose que una temperatura por encima de 32°C puede ocasionar problemas como: pérdida de trabajabilidad y sobre todo fisuración lo cual puede controlarse dándole un adecuado curado al hormigón.

Este ensayo permite a través de un termómetro debidamente calibrado conocer la temperatura en la mezcla.

5.2.3 Equipos a utilizar

- Termómetro debidamente calibrado

5.2.4 Materiales

- Una muestra de hormigón en estado fresco

5.2.5 Procedimiento

Colocar el sensor de temperatura dentro de la muestra de hormigón cubriendo el sensor con un mínimo de 75 mm en todas las direcciones.

Presionar suavemente el hormigón alrededor del sensor.

Leer la temperatura luego de un tiempo de 2 minutos o hasta que el termómetro se estabilice y registrar con una aproximación de ± 0.5 °C.

5.3 Determinación del Contenido de Aire en el Hormigón Fresco

Método de Presión ASTM C 231

5.3.1 Objetivo general

Determinar la cantidad de aire que puede contener un hormigón recién mezclado sin incluir cualquier cantidad de aire que puedan contener las partículas de los agregados.

5.3.2 Características generales

Este ensayo se aplica para hormigones con agregados relativamente densos y que se requiera determinar el factor de corrección del agregado.

Este ensayo no es aplicable a hormigones no plásticos o con agregados ligeros para estos casos se determina de acuerdo con la ASTM C 173.

5.3.3 Equipos a utilizar

- Medidor tipo B: Es un recipiente de metal de forma cilíndrica con una tapa que lo cubre, el volumen del recipiente es de 7 litros. El dial para medir el contenido de aire en la tapa debe estar graduado en al menos 8% y que sea legible con una aproximación de 0.1 %.
- Varilla: De acero con punta redondeada, diámetro de al menos 16mm de espesor y no menos a 400 mm de longitud.
- Cucharón metálico.
- Placa para remover exceso de hormigón:
- Mazo: De goma con un peso aproximado de 1.25 ± 0.5 lb.

5.3.4 Materiales

- Una muestra de hormigón en estado fresco.

5.3.5 Procedimiento

Escoger una muestra de hormigón fresco que sea representativa.

Con una esponja humedecer la olla y colocarlo sobre una superficie que este a nivel y firme.

Con el cucharón llenar el recipiente en tres capas de igual volumen. En cada capa compactar con la varilla con 25 penetraciones y con el mazo de goma golpear de 10 a 15 veces para evitar que las burbujas de aire queden atrapadas en el fondo de la muestra.

En la última capa, enrasar el hormigón con la placa metálica apoyada sobre el borde superior del molde, luego limpiar el exceso de muestra del borde del recipiente.

Pesar la muestra en la olla y registrar este valor.

Limpiar y humedecer el borde de la cubierta antes de colocarla con las mordazas a la base, las mordazas se sujetan en cruz de dos en dos.

Abrir ambas llaves de purga y cerrar la válvula principal de aire.

Inyectar agua a través de una de las llaves de purga hasta que salga agua por la otra.

Continuar inyectando agua por la llave de purga mientras mueve y golpea el medidor para asegurarse que todo el aire sea expulsado.

Cerrar la válvula de escape de aire y bombear aire dentro de la cámara hasta que el manómetro este en la línea de presión inicial.

Esperar unos segundos para que el aire comprimido llegue a una temperatura normal y se estabilice la lectura de presión.

Ajustar el manómetro en la línea de presión inicial por bombeo y cerrar ambas llaves de purga.

Abrir la válvula principal entre la cámara de aire y el tazón. Dar pequeños golpes en los lados del tazón con el mazo.

Leer y registrar el porcentaje de aire, golpeando ligeramente el manómetro con la mano para estabilizar la lectura.

Cerrar la válvula de aire principal y abrir las llaves de purga para descargar la presión, antes de remover la cubierta.

5.4 Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Hormigón para Ensayo Norma INEN 1576.

5.4.1 Objetivo general

Elaborar y curar cilindros y vigas de las muestras tomadas de hormigón.

5.4.2 Características generales

Luego de determinar las propiedades del hormigón en estado fresco, se procede a evaluar sus propiedades en estado endurecido para lo cual es muy importante elaborar los cilindros o vigas de la manera adecuada.

Se debe garantizar que los especímenes tengan un curado hasta la edad del ensayo para que alcancen la resistencia de diseño.

5.4.3 Equipos a utilizar

- Moldes: Dependiendo del tamaño máximo del agregado se utiliza moldes de 150mm*300mm o de 100mm*200mm.
- Varilla de acero: Varilla recta de diámetro 16 mm y de longitud 600mm con punta semiesférica.
- Mazo: Mazo con cabeza de caucho con una masa de 0.6 kg \pm 0.5 kg
- Llana de metal

5.4.4 Materiales

- Una muestra de hormigón en estado fresco.
- Aceite Vegetal o grasa.

5.4.5 Procedimiento

Procedimiento para moldeo de cilindros.

Colocar los moldes sobre una superficie nivelada

Fotografía 5.2 Moldes sobre superficie firme y nivelada



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Con el cucharón metálico distribuir la muestra en 2 o 3 capas de igual volumen dependiendo del tamaño del molde.

Compactar cada capa con 25 penetraciones de la varilla, usando la punta semiesférica en forma espiral, la segunda o tercera capa penetrar la varilla 25 mm por debajo de la capa anterior.

Luego de compactar cada capa, golpear con el mazo de 10 a 15 veces en ambos lados del molde.

Con la varilla de compactación enrasar la superficie y con la llana realizar el acabado de la misma.

Luego de transcurrir 24 ± 8 horas proceder a desmoldar las probetas.

Proceder a marcar las probetas y luego sumergir en agua a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta la edad del ensayo.

Procedimiento para Moldeo de Vigas

Colocar los moldes sobre una superficie nivelada

Con el cucharón metálico distribuir la muestra en 2 capas de igual volumen.

Determinar el número de penetraciones manteniendo 1 penetración por cada 14 cm^3 y compactar.

Fotografía 5.3 Moldeo de vigas



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Luego de compactar cada capa, golpear con el mazo en ambos lados del molde.

Con la varilla de compactación enrasar la superficie y con la llana realizar el acabado de la misma.

Luego de transcurrir 24 ± 8 horas proceder a desmoldar las probetas.

Fotografía 5.4 Desencofrado de viga



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Proceder a marcar las vigas y luego sumergir en agua a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta la edad del ensayo

Fotografía 5.5 Almacenamiento en agua con cal



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

5.5 Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico Norma INEN 1573

5.5.1 Objetivo general

Determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón que tengan una densidad mayor que 800 Kg/m³.

5.5.2 Características generales

Este método de ensayo nos permite evaluar la resistencia del hormigón en estado endurecido. Luego de que hayan pasado por un curado estándar.

Consisten en aplicar a los especímenes una carga axial de compresión a una velocidad constante hasta que ocurra la falla de la probeta.

5.5.3 Equipos a utilizar

- Máquina de ensayo debidamente calibrada de acuerdo con la norma ASTM E4. Con un porcentaje de error que no debe exceder de ± 1.0 % de la carga indicada.
- Calibrador Vernier y Flexómetro.

5.5.4 Materiales

- Especímenes cilíndricos de hormigón

- Balanza
- Cabezales y almohadillas de neopreno

5.5.5 Procedimiento

Extraer los especímenes cilíndricos del curado húmedo. Tener en cuenta la tolerancia de tiempo admisible para ensayar el espécimen de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla XXIII. Tolerancia en el ensayo según la edad de la probeta

Edad del ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	±0,5h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6horas o 3,6%
28 días	20horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

Fuente: INEN 1573

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Pesar los especímenes y medir su diámetro y altura. Registrar los datos.

Fotografía 5.6 Medición de cilindro

Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Limpiar las superficies de contacto de los especímenes y de los cabezales luego colocar las almohadillas de neopreno sobre la cual se coloca el espécimen. Alinear el eje del espécimen con el centro de carga del bloque de carga esférico de la máquina de ensayo.

Ingresar los datos en la máquina y aplicar la carga a una velocidad de esfuerzo de $0.25 \pm 0.05 \text{MPa/s}$.

Mantener esta velocidad de carga durante la última mitad de la fase de carga hasta que el indicador muestre que la carga este decreciendo y se forme en el espécimen un patrón de fisura definido de acuerdo a los esquemas típicos de fractura.

Fotografía 5.7 Ensayo a compresión



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Registrar la carga ultima, la resistencia y el patrón de fisura.

Fotografía 5.8 Carga última y patrón de fisura



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

5.6 Ensayos No Destructivos

Estos ensayos son una herramienta muy utilizada para evaluar la calidad de los hormigones en estado endurecido pero hay que tomar en cuenta que no reemplazarán a los ensayos destructivos.

Son aplicables en su gran mayoría de las veces en estructuras de dudosa calidad, a fin de obtener un diagnóstico preliminar del elemento que se analiza.

5.6.1 Permeabilidad al aire:

La permeabilidad al Aire provee información importante para evaluar la calidad de las capas superficiales del hormigón, lo que tiene relación con su durabilidad potencial, además de proveer información de la existencia de defectos no visibles. (Proceq, 2015)

El Método de Torrent se emplea para medir la permeabilidad intrínseca al aire del hormigón de recubrimiento (kT), en la siguiente tabla se muestra la clasificación de la permeabilidad a edades entre 28 a 180 días en función de kT .

Tabla XXIV. Clasificación de la permeabilidad del hormigón en función de kT

Clase	$kT(10^{-16}m^2)$	Permeabilidad
PK1	0,01	Muy baja
PK2	0,01-0,1	Baja
PK3	0,1-1,0	Moderada
PK4	1,0-10,0	Alta

Descripción del Ensayo

El equipo se muestra en la figura 5.9

Fotografía 5.9 Equipo de Permeabilidad de Torrent



Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Consisten en una celda con doble cámara, basada en el principio de guarda. Una cámara interna i y una cámara externa e .

Un regulador de presión a membrana, cuya función es mantener a ambas cámaras siempre a la misma presión ($P_i = P_e$).

Todo el procedimiento es regulado por el computador Torrent el cual indica en que momento abrir y cerrar cada una de las válvulas de paso, el ensayo puede durar varios minutos dependiendo de la permeabilidad de hormigón.

El coeficiente de permeabilidad al aire se calcula aplicando la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Cálculo del coeficiente de permeabilidad al aire

$$k_T = \left(\frac{V_c}{A} \right)^2 \frac{\mu}{2\epsilon p_a} \left(\frac{\ln \left(\frac{p_a + p}{p_a - p} \frac{p_a - p_o}{p_a + p_o} \right)}{\sqrt{t} - \sqrt{t_o}} \right)^2$$

Donde:

k_T : coeficiente de permeabilidad al aire del recubrimiento(m²)

V_c : volumen de la cámara interior (m³)

A : área de a cámara interior (m²)

μ : viscosidad dinámica del aire (Ns/m²)

ϵ : porosidad del hormigón(-)

p_a : presión atmosférica (N/m²)

p_o : presión en la cámara interior al inicio del ensayo $t_o = 60$ s

(N/m²)

p : presión en la cámara interior al final del ensayo t ($t \leq 720$ s)

(N/m²)

5.6.2 Ultrasonido:

Con este ensayo se puede determinar el grado de homogeneidad, lo cual se obtiene con mediciones de la velocidad ultrasónica sobre el hormigón a evaluar.

Con este equipo se puede determinar además de la homogeneidad del hormigón también la presencia de fisuras, hueco, y calidad del hormigón.

En las siguientes tablas podemos observar las condiciones en la que se encuentra el hormigón dependiendo de la onda longitudinal m/s para diferentes autores y dependiendo del tipo de obra.

Tabla XXV. Clasificación de la calidad del Hormigón por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman

Velocidad de la onda longitudinal m/s	Condición del hormigón
Más de 4570	Excelente
De 3050 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre

Tabla XXVI Evaluación de la calidad mediante la velocidad de pulso según Agraval

Velocidad de pulso m/s	Condición del hormigón
Más de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2130	Pobre

Tabla XXVII. Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas.

Tipo de Obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación m/s
Secciones T de hormigón reforzado	4570
Unidades de anclaje de hormigón reforzado	4360
Marcos de anclaje de hormigón reforzado	4110
Losas de entre piso	4720

Descripción del Ensayo

Cuando la onda se transmite a través del hormigón desde el transductor emisor al receptor, el cual convierte la energía mecánica de la onda en pulso electrónico. Y luego se obtiene el tiempo en que la onda se propaga a través del hormigón, midiendo la distancia entre los transductores nos ayudara a saber la velocidad del pulso. (Proceq, 2015)

Se debe tener en cuenta que ambos transductores (emisor y receptor) tengan un buen acoplamiento sobre la superficie del hormigón a evaluar.

Existen muchos criterios para evaluar la calidad del hormigón, obteniéndose como dato la velocidad de pulso como los mostrados en las tablas anteriores.

También se puede Obtener el módulo de elasticidad dinámico de la velocidad de onda con la siguiente ecuación:

$$E_d = 1.02 * V^2 * W * 105 \text{ Para Probetas de Laboratorio.}$$

Ed: Módulo dinámico de elasticidad de hormigón

V: velocidad de pulso

W: Peso volumétrico del hormigón.

CAPÍTULO 6

6 Resultados de los ensayos Realizados

6.1 Tiempo de Fraguado

El tiempo de fraguado del cemento Holcim tipo HE se encuentra dentro de los límites que especifica la Norma INEN 2380 el cual debe ser el siguiente:

Tiempo de fraguado inicial, no menos de 45 minutos

Tiempo de fraguado final, no más de 420 minutos

El resultado obtenido fue de 154 minutos para el fraguado inicial y 375 minutos para el fraguado final.

6.2 Impurezas Orgánicas

El color en este ensayo es el amarillo claro lo que demuestra que no hay presencia de materia orgánica en el agregado fino.

6.3 Granulometría

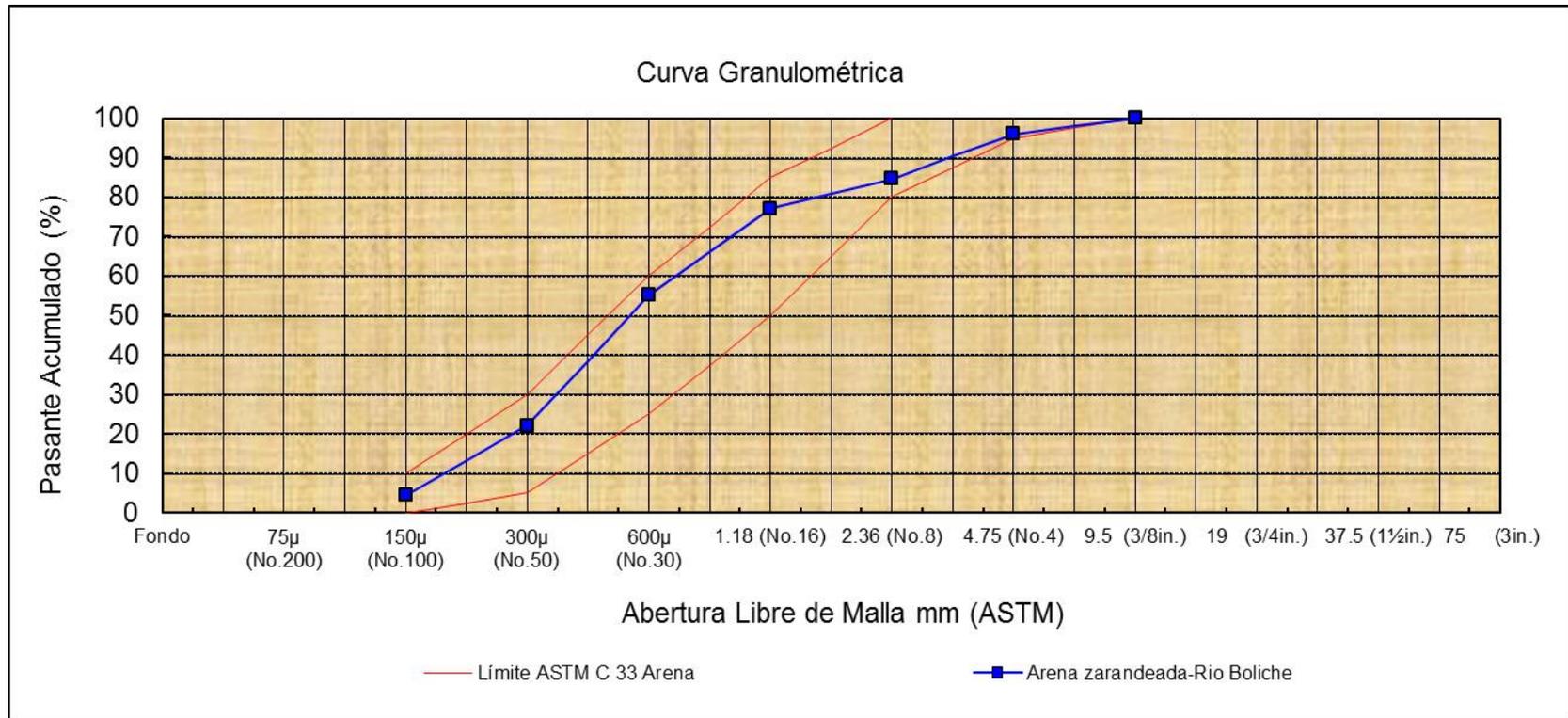


Gráfico 2. Curva Granulométrica de la Arena de Rio

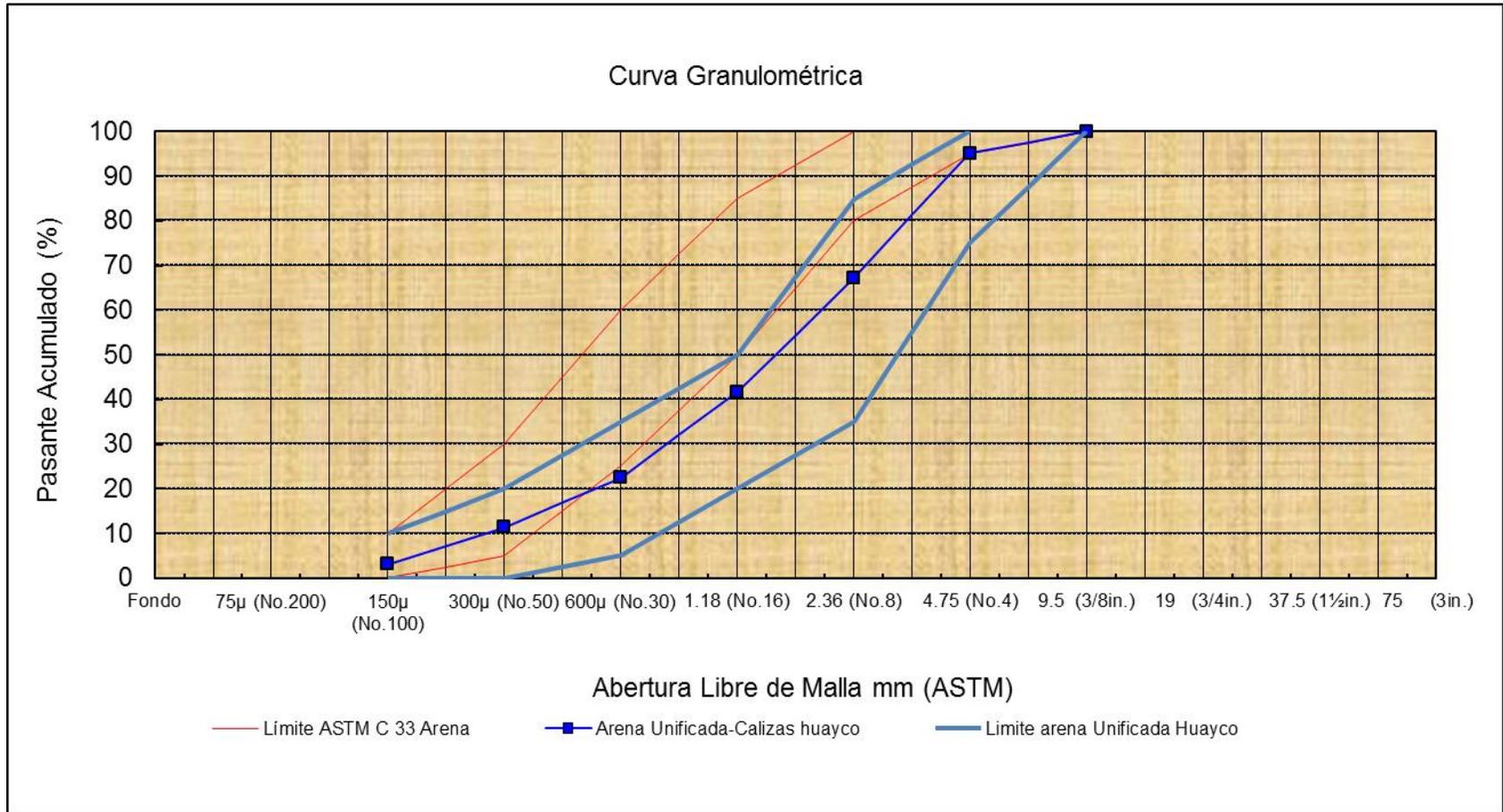


Gráfico 3 Curva Granulométrica de la Arena Unificada

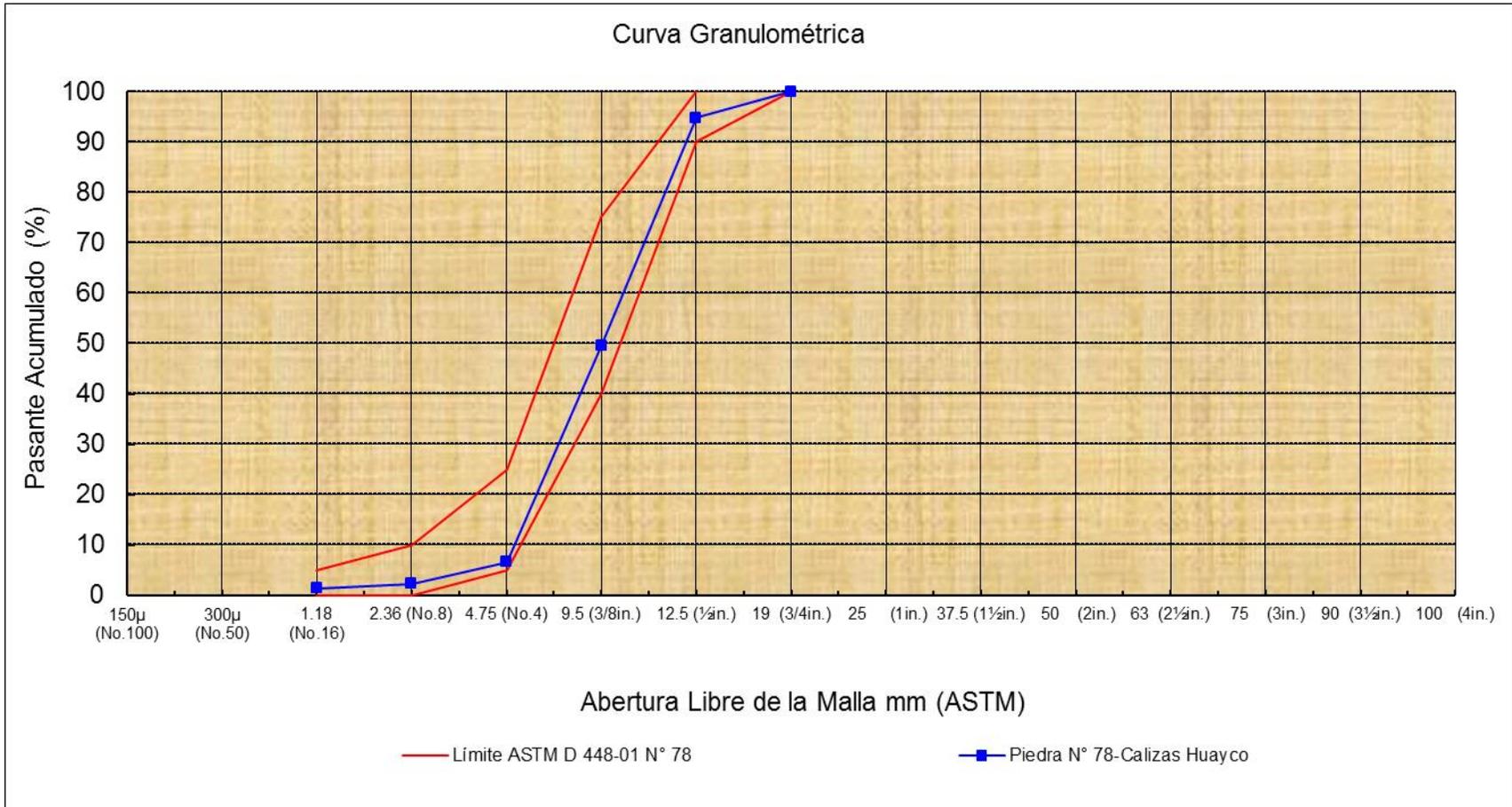


Gráfico 4 Curva Granulométrica de la Piedra # 78

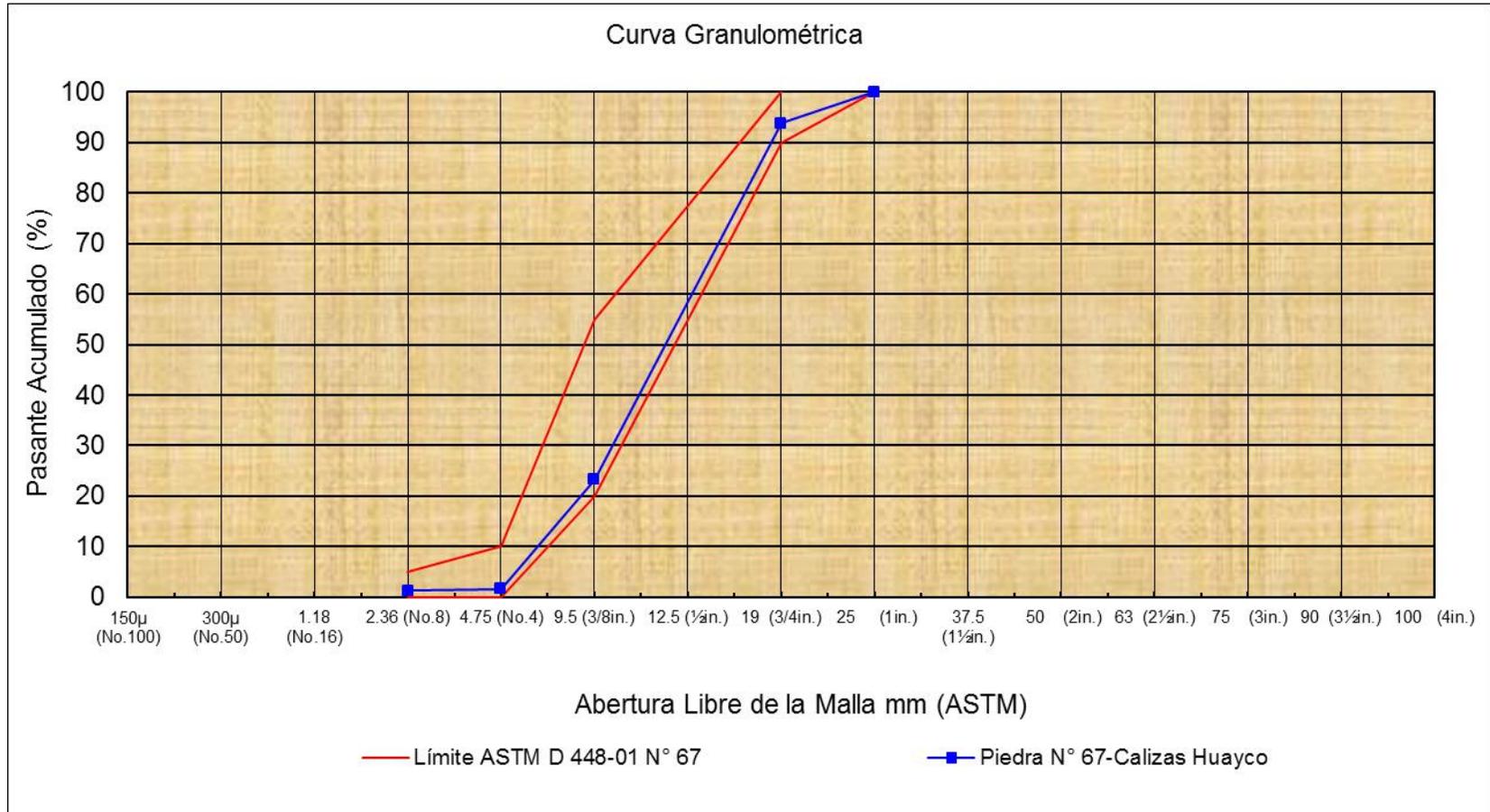


Gráfico 5 Curva Granulométrica de la Piedra # 67

6.4 Densidad y Absorción

Los resultados fueron los siguientes:

Arena de Rio-Rio boliche DSSS: 2685kg/m³; Po: 2,30%

Arena Unificada- Calizas Huayco DSSS: 2595kg/m³; Po: 2,99%

P # 78 calizas Huayco DSSS: 2604kg/m³; Po: 1,7%

P # 67 calizas Huayco DSSS: 2611 kg/m³; Po: 1,7%

Las densidades de los materiales nos permite realizar hormigones de densidad normal y las absorciones bajas nos permite reducir la cantidad de agua que demanda la mezcla y por lo tanto obtener una menor relación agua-cemento.

6.5 Porcentaje de Vacíos

Los resultados son:

Arena de Rio-Rio boliche Densidad Suelta: 1418kg/m³ y Densidad Compactada: 1636 kg/m³.

Arena Unificada-Calizas Huayco Densidad Suelta: 1282kg/m³ y Densidad Compactada: 1539 kg/m³.

P # 78 calizas Huayco DSSS Densidad Suelta: 1282kg/m³ y Densidad Compactada: 1461 kg/m³.

P # 67 calizas Huayco Densidad Suelta: 1354kg/m³ y Densidad Compactada: 1447 kg/m³.

El porcentaje de Vacío máximo en estos agregados es del 20% por lo que se debió obtener una granulometría para que cubra cada uno de los agregados los espacios vacíos del otro agregado.

6.6 Contenido de humedad

Las humedades se deben sacar cada vez que se realicen los ensayos en laboratorio y corregir el diseño respectivamente para este ensayo se obtuvieron los siguientes resultados:

Arena de Rio-Rio boliche Humedad: 0,50%

Arena Unificada-Calizas Huayco Humedad: 0,67%

P # 78 calizas Huayco Humedad: 0,41%

P # 67 calizas Huayco Humedad: 0,63%

6.7 Resistencia en cubos de Mortero y Resultados

La evaluación de aditivos en cubos de mortero equivalente dio como resultado que con el aditivo Viscocrete 20HE a una dosis del 2% las más altas resistencias a la edad de un días.

6.8 Generación de Temperatura del Mortero utilizando el Holcim Heat.

Se realizó el ensayo a dos muestras: Una Patrón sin Aditivos y otra Con Aditivos:0.4 MR + 1.2 HE20. De los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla XXVIII Tiempos de Fraguado en Mortero y generación de calor a través del tiempo con el HolcimHeat

HolcimHeat Thermocal Report		
Mix ID	Patrón	0,40 MR + 1,20 20HE
Tma °C	62	59,2
Time@Tmax hh:mm	6:21	16:08
Initt Set hh:mm	2:56	10:49
Final Set hh:mm	03.52	12:25
CT@6°C*hrs	109	0:00
CT@12°C*hrs	332	0:00
CT@18°C*hrs	472	0:00
CT@24°C*hrs	568	0:00

Fuente: In situ

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

Temperature Graphs

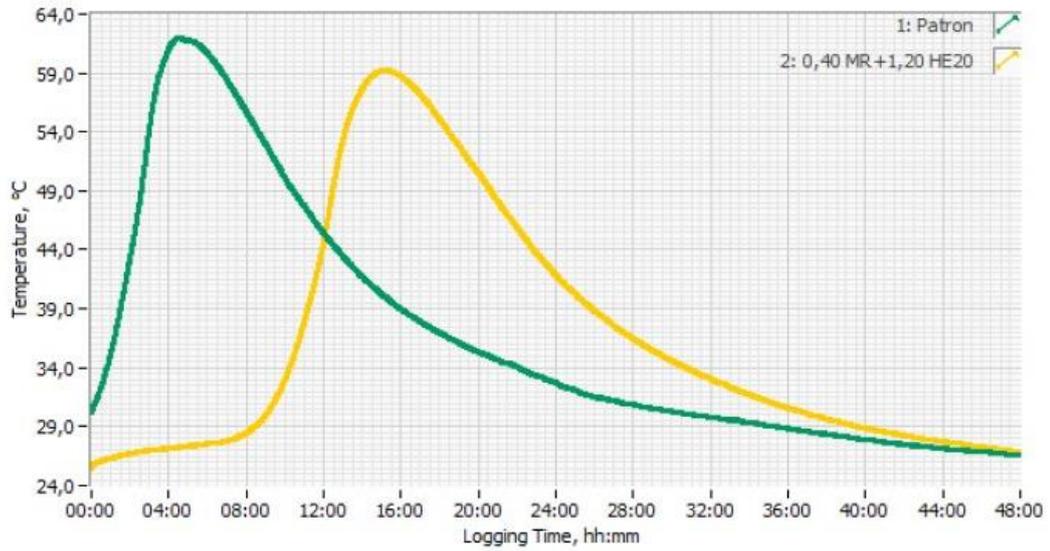


Gráfico 6 Grafico de Tiempo vs Generación de Temperatura con el Holcim Heat

Fuente: Holcim Heat

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

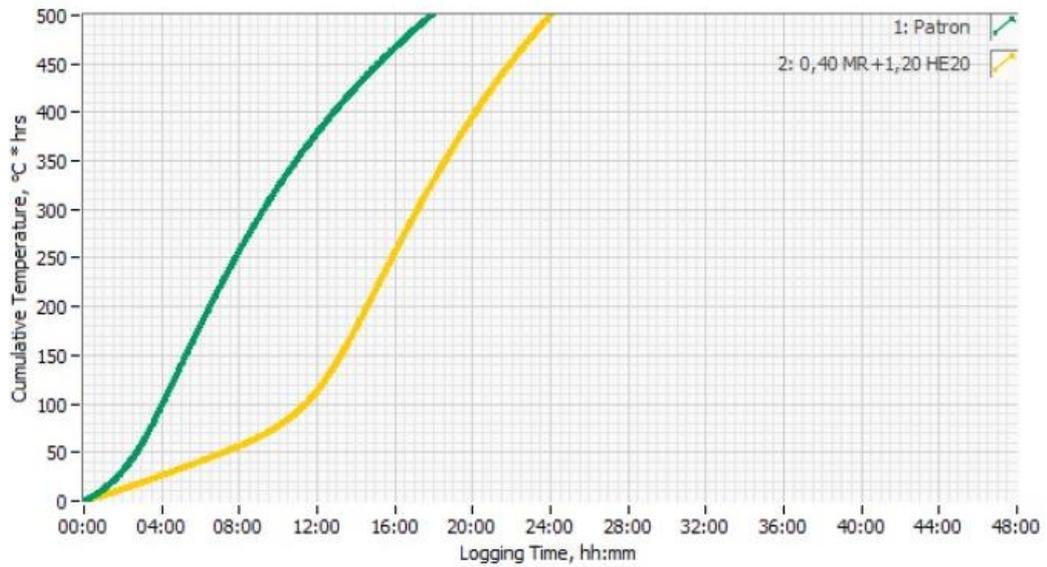


Gráfico 7 Grafico Tiempo vs Temperatura Acumulada con el HolcimHeat

Fuente: HolcimHeat

Elaborado por: Jacob Luis Mosquera Avila

6.9 Abrasión de los Ángeles

El porcentaje de abrasión de los agregados gruesos demostraron ser inferior al límite de 50% que es recomendable para agregados para hormigón los resultados fueron los siguientes:

P#78 Calizas Huayco: 25.56 %

P#67 Calizas Huayco: 24.44 %

6.10 Permeabilidad al Aire

Los resultados de la medición de la Permeabilidad al aire con el equipo de Torrent fueron los siguientes:

Hormigón de alto desempeño 4.5MPa a las 24 Horas, $kt=0,05*10^{-6}m^2$

Hormigón convencional no curado, $kt=4,812*10^{-6}m^2$

Hormigón convencional curado, $kt=0.148*10^{-6}m^2$

Los resultados son favorables para el Hormigón de alto desempeño debido a que en función de kt se clasifica como un Hormigón de Baja Permeabilidad

Además se demuestra que si un Hormigón recibe un curado adecuado la permeabilidad baja y ocurre lo contrario si no se realiza el curado.

6.11 Velocidad de Onda

La velocidad de Onda con el equipo de Torrent fue la siguiente:

Hormigón de alto desempeño 4.5MPa a las 24 Horas, $V=4464$ (mts/seg)

Hormigón convencional no curado, $V=4018.5$ (mts/seg)

Hormigón convencional curado, $V=4075$ (mts/seg)

Con estos Valores de Velocidad de Onda según la clasificación de la calidad del Hormigón de Leslie y Cheesman el Hormigón es de Buena Calidad, de igual manera para la Evaluación de la calidad según Agraval.

Tabla XXXVI. Dosificación Número: 8

Dosificación Hormigón 4,5 Mpa a las 24 Horas						
Laboratorio:	Centro Técnico del Hormigón					
Realizado por:	Jacob Mosquera					
Dosificación Número:	8					
Método de Diseño:	ACI 211					
	Peso (kg)	Densidad	Volumen(m3)	Densidad	2379	kg/m3
Cemento HE	531	2990	0,178	Aire	0,038	m3
Piedra No. 67 TM 19mm	640	2611	0,245	Asentamiento T ₀	240	mm
Piedra No. 78 TM 12,5 mm	454	2604	0,174	Asentamiento T ₆₀	210	mm
Arena de Rio	427	2685	0,159	Edad	f'c(MPa)	MR(MPa)
Arena Unificada	95	2595	0,037	1 día	26,3	4,62
Agua	186	1000	0,186	2 días	-	-
Sikament N-100 - 0,0%	0,0	1220	0,000			
Viscocrete 20 HE - 1,2%	6,4	1200	0,005			
Sikament MR - 0,4 %	2,1	1120	0,002			
Aire			0,025			
			1,011			
Relación a/c	0,35					

Tabla XXXVII. Dosificación Número: 9

Dosificación Hormigón 4,5 Mpa a las 24 Horas						
Laboratorio:	Centro Técnico del Hormigón					
Realizado por:	Jacob Mosquera					
Dosificación Número:	9					
Método de Diseño:	ACI 211					
	Peso (kg)	Densidad	Volumen(m3)	Densidad	2358	kg/m3
Cemento HE	529	2990	0,177	Aire	0,025	m3
Piedra No. 67 TM 19mm	712	2611	0,273	Asentamiento T ₀	220	mm
Piedra No. 78 TM 12,5 mm	457	2604	0,175	Asentamiento T ₆₀	-	mm
Arena de Rio	397	2685	0,148	Edad	f'c(MPa)	MR(MPa)
Arena Unificada	133	2595	0,051	1 día	10	2,04
Agua	152	1000	0,152	2 días	-	-
Sikament N-100 - 0,0%	0,0	1220	0,000			
Viscocrete 2100 - 1,2%	6,3	1100	0,006			
Sikament MR - 0,6 %	3,2	1120	0,003			
Aire			0,025			
			1,010			
Relación a/c	0,29					

Tabla XXXIX. Dosificación Número: 11

Dosificación Hormigón 4,5 Mpa a las 24 Horas						
Laboratorio:	Centro Técnico del Hormigón					
Realizado por:	Jacob Mosquera					
Dosificación Número:	11					
Método de Diseño:	ACI 211					
	Peso (kg)	Densidad	Volumen(m3)	Densidad	2414	kg/m3
Cemento HE	559	2990	0,187	Aire	0,028	m3
Piedra No. 67 TM 19mm	623	2611	0,239	Asentamiento T _o	225	mm
Piedra No. 78 TM 12,5 mm	407	2604	0,156	Asentamiento T ₆₀	110	mm
Arena de Rio	393	2685	0,146	Edad	f'c(MPa)	MR(MPa)
Arena Unificada	163	2595	0,063	1 día	32,5	4,37
Agua	177	1000	0,177	2 días	-	-
Sikament N-100 - 1,0%	5,6	1220	0,005			
Viscocrete HE200 - 2,5%	14,0	1100	0,013			
Sikament MR - 0,0 %	0,0	1120	0,000			
Aire			0,025			
			1,010			
Relación a/c	0,32					

Tabla XLI. Dosificación Número: 13

Dosificación Hormigón 4,5 Mpa a las 24 Horas						
Laboratorio:	Centro Técnico del Hormigón					
Realizado por:	Jacob Mosquera					
Dosificación Número:	13					
Método de Diseño:	ACI 211					
	Peso (kg)	Densidad	Volumen(m3)	Densidad	2358	kg/m3
Cemento HE	559	2990	0,187	Aire	0,028	m3
Piedra No. 67 TM 19mm	623	2611	0,239	Asentamiento T _o	260	mm
Piedra No. 78 TM 12,5 mm	407	2604	0,156	Asentamiento T ₆₀	200	mm
Arena de Rio	393	2685	0,146	Edad	f'c(MPa)	MR(MPa)
Arena Unificada	161	2595	0,062	1 día	2,3	1,05
Agua	177	1000	0,177	2 días	-	-
Sikament N-100 - 0,6%	3,4	1220	0,003			
Viscocrete HE200 - 2,5%	14,0	1100	0,013			
Sikament MR - 0,4 %	2,2	1120	0,002			
Aire			0,025			
			1,010			
Relación a/c	0,32					

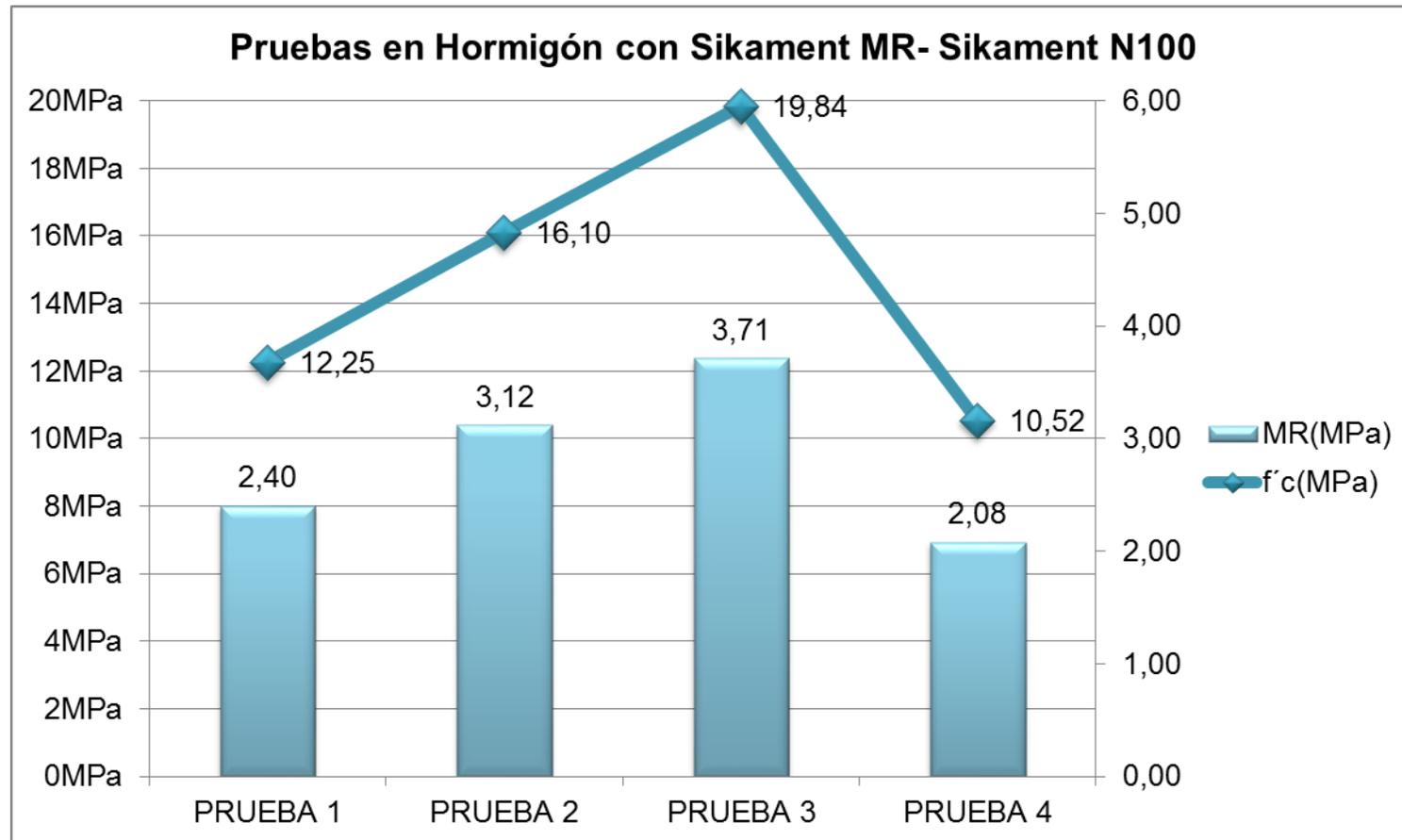


Gráfico 8 Resultados de pruebas en Hormigón con los aditivos: Sikament MR-Sikament N100

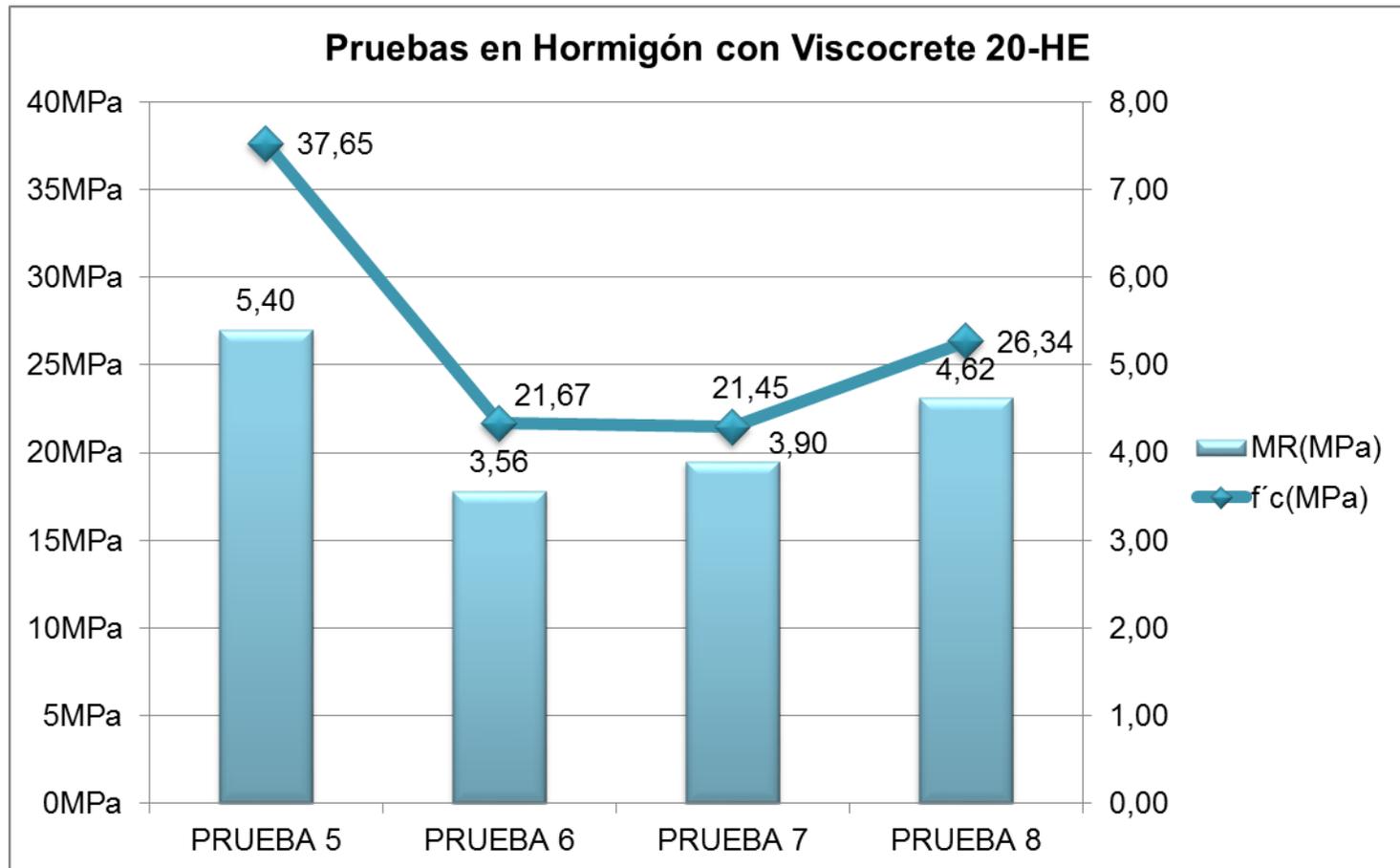


Gráfico 9 Resultados de pruebas en Hormigón con el aditivo Viscocrete 20 HE

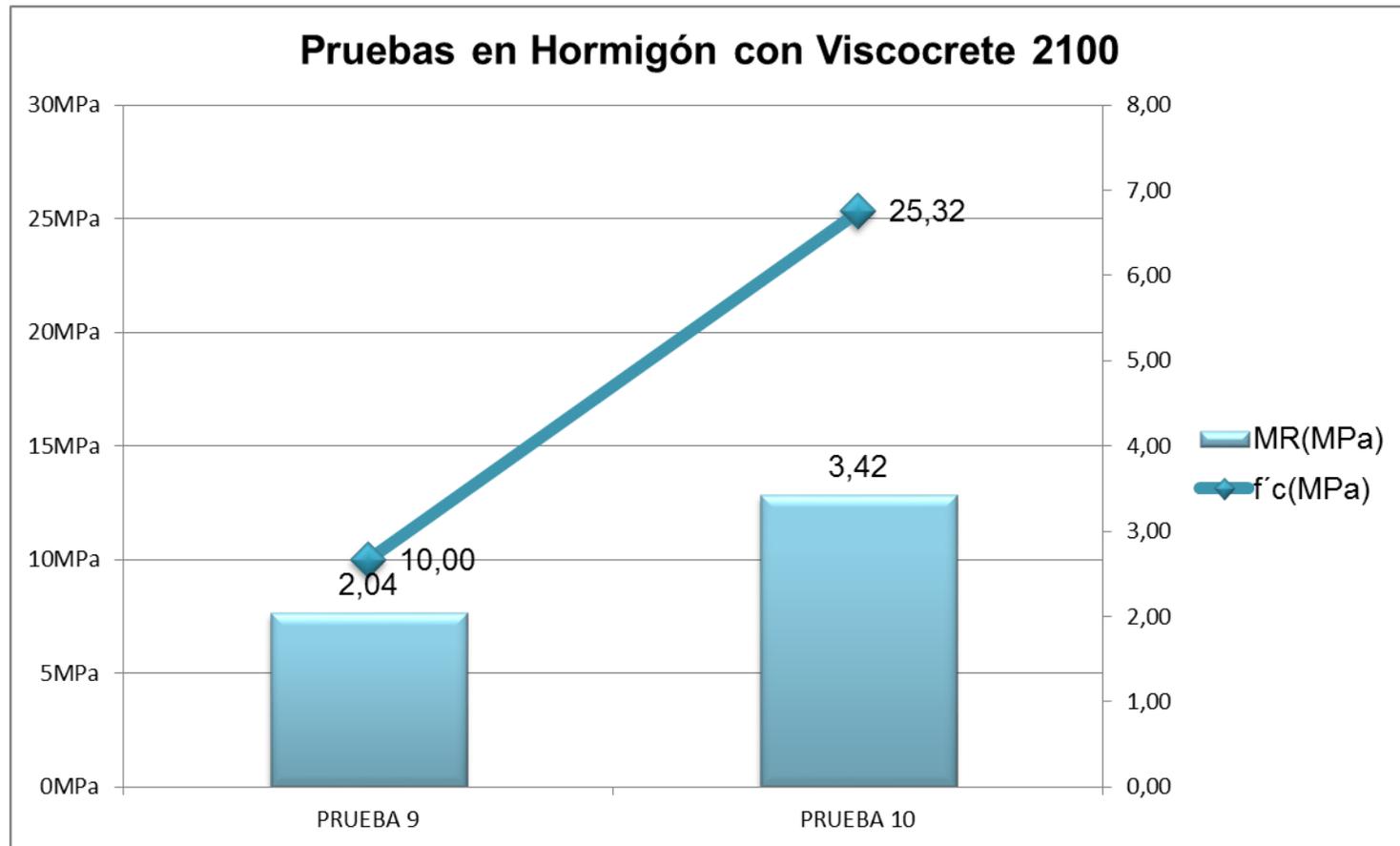


Gráfico 10 Resultados de pruebas en Hormigón con el aditivo: Viscocrete 2100

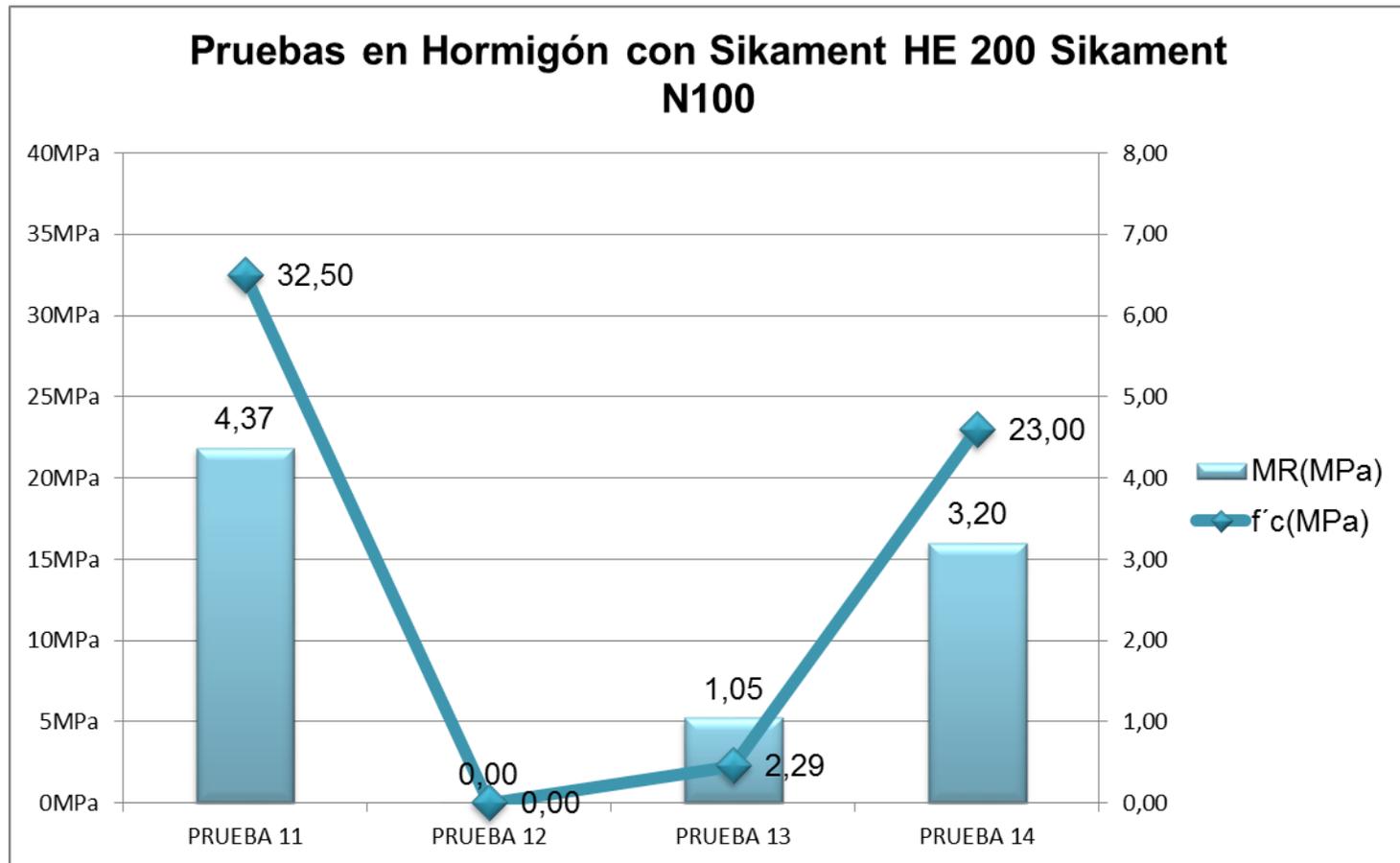


Gráfico 11 Resultados de pruebas en Hormigón con los aditivos: Sikament HE200 y Sikament N100

CAPÍTULO 7

7 .Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. De los ensayos realizados en cubos de mortero para la determinación de la mejor combinación de aditivos se puede concluir que utilizando los aditivos Sikament N100 y Sikament HE 200, se obtuvieron resistencias mayores a 30 Mega Pascales a 1 día, pero debido al tiempo de manejabilidad que se debía cumplir fue necesario considerar adicionar un retardante para que la mezcla no pierda fluidez rápidamente. Al evaluar estos aditivos en Hormigón no se obtuvo el desempeño esperado debido a que no alcanzó la resistencia esperada, además de retardar el fraguado del hormigón debido a la combinación de dosis de aditivos elevadas.

2. Con los aditivos Sikament MR y Sikament N100 no se logró obtener altas resistencias mayores que 30 MPa en cubos de mortero, mientras que en hormigón las resistencias obtenidas fueron menores de 20 MPa a la compresión, por lo que esta combinación tampoco fue la esperada para alcanzar el nivel de resistencia que se deseaba.
3. Utilizando el aditivo Viscocrete 2100, se obtuvo resistencia en cubos de mortero de entre 25 y 32 MPa, lo cual al evaluar esta dosis en Hormigón la mezcla se comportaba chiclosa es decir no era trabajable fácilmente y las resistencia alcanzadas no fue las esperadas a 1 día.
4. La microsílíce en una dosis de 5 % del peso del cemento, ayudó a aumentar la resistencia en cubos de mortero mientras que en una dosis de 10 % también aumenta la resistencia a edades tempranas con un ligero retardo a un día debido a que no actuaba en un 100 % la micro sílice.
5. La mejor dosis de aditivo se logró con el Viscocrete 20 HE, obteniéndose resistencias en cubos de mortero superior de 40 MPa en cubos de mortero, mientras que en el hormigón se adicionó un aditivo retardante para mantener el hormigón trabajable por 1 hora, lográndose la resistencia de 4.6 MPa a la flexión y a 26.3 MPa a la

compresión a las 24 horas, lográndose obtener el desempeño planteado en la presente investigación.

6. En caso de que el tiempo de traslado del hormigón sea mayor a 1 hora y pierda el revenimiento se puede colocar el aditivo Viscocrete en obra, en una dosis de 0.2 % del peso del cemento para recuperar revenimiento.

7.2 Recomendaciones

1. Los materiales que se utilicen para la elaboración del hormigón con módulo de rotura 4.5MPa a un día, deberán cumplir con las características que se obtuvieron en la presente investigación.
2. Se debe realizar un buen control de calidad tanto en los agregados, cemento, agua y aditivos para garantizar el desempeño obtenido en el laboratorio.

ANEXOS:

ANEXO 1

Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat NTE INEN 158

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Fecha: 13/05/2013

Hora de Mezclado: 9:36

Hora	Tiempo de Medición (min)	Penetración (mm)
11:35	119	38
12:10	154	25
14:00	264	2
15:51	375	0

E=	119	min
H=	154	min
C=	38	mm
D=	25	mm

Tiempo Fraguado inicial= 154 Min
Tiempo de fraguado final = 375 Min

ANEXO 2

IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Fecha: 13/05/2013
Material: Arena Zarandeada- Rio Boliche

COLOR DE LA MUESTRA ENSAYADA	EQUIVALENCIA COLORIMETRICA	PRESENCIA DE IMPUREZAS
Amarillo claro	5	No

ANEXO 3 Granulometría

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón

Fecha: 24/03/2014

Realizado por: Jacob Mosquera

Agregado: Arena zarandeada-Rio Boliche

Masa inicial(g): 500

Tamiz		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0,0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	20,0	4	4	96
2,36 mm	No. 8	57,0	11	15	85
1,18 mm	No. 16	37,0	7	23	77
600 µm	No. 30	110,0	22	45	55
300 µm	No. 50	165,0	33	78	22
150 µm	No. 100	88,0	18	96	4
Bandeja		22,0	4	100	0
Masa final (g):	499,0	Módulo de Finura :		2,6	
Pérdida ≤0.3%	Ensayo válido				

Granulometría

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón

Fecha: 24/03/2014

Realizado por: Jacob Mosquera

Agregado: Arena Unificada-Calizas huayco

Masa inicial(g): 500

Tamiz		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0,0	0	0	100
4,75 mm	No. 4	24,0	5	5	95
2,36 mm	No. 8	139,5	28	33	67
1,18 mm	No. 16	128,0	26	58	42
600 µm	No. 30	96,0	19	78	23
300 µm	No. 50	55,5	11	89	11
150 µm	No. 100	41,5	8	97	3
Bandeja		15,5	3	100	0
Masa final (g):	500,0	Módulo de Finura :		3,6	
Pérdida ≤0.3%	Ensayo válido				

Granulometría

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Piedra N° 78-Calizas Huayco

Fecha: 25/03/2014

Masa inicial (g): 3.500

Tamiz		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM				
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	---	---	---	---
25 mm	1 in.	---	---	---	---
19 mm	¾ in.	0,0	0	0	100
12.5 mm	½ in.	181,0	5	5	95
9.5 mm	3/8 in.	1580,0	45	50	50
4,75 mm	No. 4	1500,0	43	93	7
2,36 mm	No. 8	152,0	4	98	2
1,18 mm	No. 16	31,5	1	99	1
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
Bandeja		45,5	1	100	0
Masa final (g): 3490,0		Módulo de Finura:		6,4	
Pérdida ≤0.5%: Ensayo válido					

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Piedra N° 67-Calizas Huayco

Fecha: 25/03/2014
Masa inicial (g): 6.000

Tamiz		Retenido Parcial (g)	Retenido Parcial (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
INEN	ASTM				
50 mm	2 in.	---	---	---	---
37.5 mm	1½ in.	---	---	---	---
25 mm	1 in.	0,0	0	0	100
19 mm	¾ in.	370,0	6	6	94
12.5 mm	½ in.	---	---	---	---
9.5 mm	3/8 in.	4235,0	71	77	23
4,75 mm	No. 4	1298,0	22	98	2
2,36 mm	No. 8	18,0	0	99	1
1,18 mm	No. 16	---	---	---	---
300 µm	No. 50	---	---	---	---
150 µm	No. 100	---	---	---	---
Bandeja		75,0	1	100	0
Masa final (g): 5996,0		Módulo de Finura:		6,8	
Pérdida ≤0.5%:		Ensayo válido			

ANEXO 4

Densidad y Absorción para Agregados Finos

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Arena zarandada-Rio Boliche
Fecha: 09/04/2014

A	488,8	g
B	707,3	g
S	500	g
C	1021,1	g
Ds	2625	Kg/m ³
Dsss	2685	Kg/m ³
D	2794	Kg/m ³
Po	2,30	%

Nomenclatura Según INEN 856

A: Masa en el aire de la muestra secada al horno
B: Masa del matraz lleno de agua hasta la marca de calibración
S: Masa en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco
C: Masa del matraz con la muestra lleno de agua hasta la marca de calibración
Ds: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino seco
Dsss: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino en estado saturado superficialmente seco
D: Densidad aparente del árido fino a 23 C
Po: Porcentaje de absorción de agua del árido fino

Densidad y Absorción para Agregados Finos

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Arena Unificada-Caliza Huayco
Fecha: 09/04/2014

A	485,5	g
B	707,3	g
S	500	g
C	1014,65	g
Ds	2520	Kg/m ³
Dsss	2595	Kg/m ³
D	2725	Kg/m ³
Po	2,99	%

Nomenclatura Según INEN 856

A: Masa en el aire de la muestra secada al horno
B: Masa del matraz lleno de agua hasta la marca de calibración
S: Masa en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco
C: Masa del matraz con la muestra lleno de agua hasta la marca de calibración
Ds: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino seco
Dsss: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino en estado saturado superficialmente seco
D: Densidad aparente del árido fino a 23 C
Po: Porcentaje de absorción de agua del árido fino

Densidad y Absorción para Agregados Gruesos

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Piedra N°78-Calizas Huayco
Fecha: 09/04/2014

A	2458,3	g
B	2500	g
C	1540	g
Ds	2561	Kg/m ³
Dsss	2604	Kg/m ³
D	2677	Kg/m ³
Po	1,70	%

Nomenclatura Según INEN 856

A: Masa en el aire de la muestra secada al horno
B: Masa del matraz lleno de agua hasta la marca de calibración
S: Masa en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco
C: Masa del matraz con la muestra lleno de agua hasta la marca de calibración
Ds: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino seco
Dsss: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino en estado saturado superficialmente seco
D: Densidad aparente del árido fino a 23 C
Po: Porcentaje de absorción de agua del árido fino

Densidad y Absorción para Agregados Gruesos

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Piedra N°67-Calizas Huayco
Fecha: 09/04/2014

A	3441,50	g
B	3500	g
C	2159,50	g
Ds	2567	Kg/m3
Dsss	2611	Kg/m3
D	2684	Kg/m3
Po	1,70	%

Nomenclatura Según INEN 856

A: Masa en el aire de la muestra secada al horno
B: Masa del matraz lleno de agua hasta la marca de calibración
S: Masa en el aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco
C: Masa del matraz con la muestra lleno de agua hasta la marca de calibración
Ds: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino seco
Dsss: Densidad de Volumen a 23 C del árido fino en estado saturado superficialmente seco
D: Densidad aparente del árido fino a 23 C
Po: Porcentaje de absorción de agua del árido fino

ANEXO 5

Masa Unitaria suelta y Compactada

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Arena Zarandeada-Río Boliche
Fecha: 07/04/2014

Densidad Suelta			
Molde:		1	2
Peso del recipiente	Kg	6,4	6,4
Peso rec. + suelo	Kg	26,3	26,2
Peso suelo	Kg	19,9	19,8
Volumen Molde	m ³	0,014	0,014
Densidad Suelta	Kg/m ³	1421	1414
Promedio:	Kg/m ³		1418

Densidad compactada			
Molde:		1	2
Peso del recipiente	Kg	6,4	6,4
Peso rec. + suelo	Kg	29,3	29,3
Peso suelo	Kg	22,9	22,9
Volumen Molde	m ³	0,014	0,014
Densidad Suelta	Kg/m ³	1636	1636
Promedio:	Kg/m ³		1636

Masa Unitaria suelta y Compactada

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Arena Unificada-Calizas Huayco
Fecha: 07/04/2014

Densidad Suelta			
Molde:		1	2
Peso del recipiente	Kg	6,4	6,4
Peso rec. + suelo	Kg	24,4	24,3
Peso suelo	Kg	18	17,9
Volumen Molde	m ³	0,014	0,014
Densidad Suelta	Kg/m ³	1286	1279
Promedio:	Kg/m ³		1282

Densidad compactada			
Molde:		1	2
Peso del recipiente	Kg	6,4	6,4
Peso rec. + suelo	Kg	27,9	28
Peso suelo	Kg	21,5	21,6
Volumen Molde	m ³	0,014	0,014
Densidad Suelta	Kg/m ³	1536	1543
Promedio:	Kg/m ³		1539

Masa Unitaria suelta y Compactada

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Piedra N°78-Calizas Huayco
Fecha: 07/04/2014

Densidad Suelta			
Molde:		1	2
Peso del recipiente	Kg	6,4	6,4
Peso rec. + suelo	Kg	24,32	24,38
Peso suelo	Kg	17,92	17,98
Volumen Molde	m ³	0,014	0,014
Densidad Suelta	Kg/m ³	1280	1284
Promedio:	Kg/m ³		1282

Densidad compactada			
Molde:		1	2
Peso del recipiente	Kg	6,4	6,4
Peso rec. + suelo	Kg	26,88	26,82
Peso suelo	Kg	20,48	20,42
Volumen Molde	m ³	0,014	0,014
Densidad Suelta	Kg/m ³	1463	1459
Promedio:	Kg/m ³		1461

Masa Unitaria suelta y Compactada

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregado: Piedra N°67-Calizas Huayco
Fecha: 07/04/2014

Densidad Suelta			
Molde:		1	2
Peso del recipiente	Kg	6,4	6,4
Peso rec. + suelo	Kg	25,31	25,39
Peso suelo	Kg	18,91	18,99
Volumen Molde	m ³	0,014	0,014
Densidad Suelta	Kg/m ³	1351	1356
Promedio:	Kg/m ³		1354

Densidad compactada			
Molde:		1	2
Peso del recipiente	Kg	6,4	6,4
Peso rec. + suelo	Kg	26,62	26,7
Peso suelo	Kg	20,22	20,3
Volumen Molde	m ³	0,014	0,014
Densidad Suelta	Kg/m ³	1444	1450
Promedio:	Kg/m ³		1447

ANEXO 6

Humedades de los Agregados

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Agregados: Arena de Rio, Unificada, Piedra #67, #78
Fecha: 07/04/2014

Muestra Agregado Fino			
		Arena de Rio	Arena Unificada
Molde:		1	2
Peso del recipiente	g	567	565,5
Peso rec. + suelo humedo	g	3215	2850
Peso rec. + suelo seca	g	3202	2835
Peso agua	g	13	15
Peso Seco	g	2622	2255
Humedad	%	0,50%	0,67%

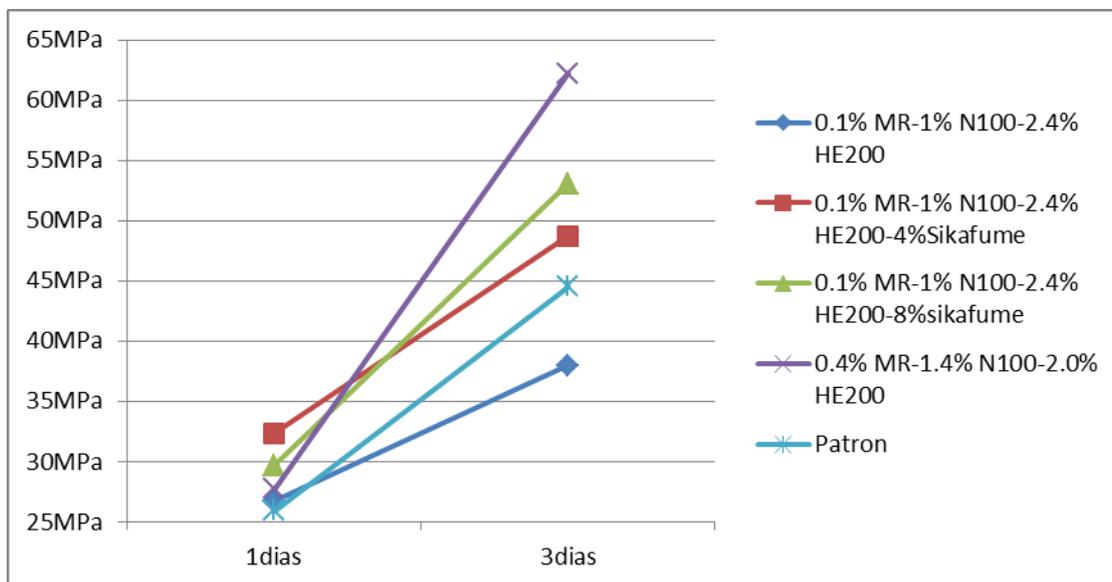
Muestra Agregado Grueso			
		Piedra #67	Piedra #78
Molde:		3	4
Peso del recipiente	g	570	568
Peso rec. + suelo humedo	g	3150	3025
Peso rec. + suelo seca	g	3134	3015
Peso agua	g	16	10
Peso Seco	g	2548	2437
Humedad	%	0,63%	0,41%

ANEXO 7

Dosificaciones de Mortero Equivalente

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Fecha: 07/04/2014

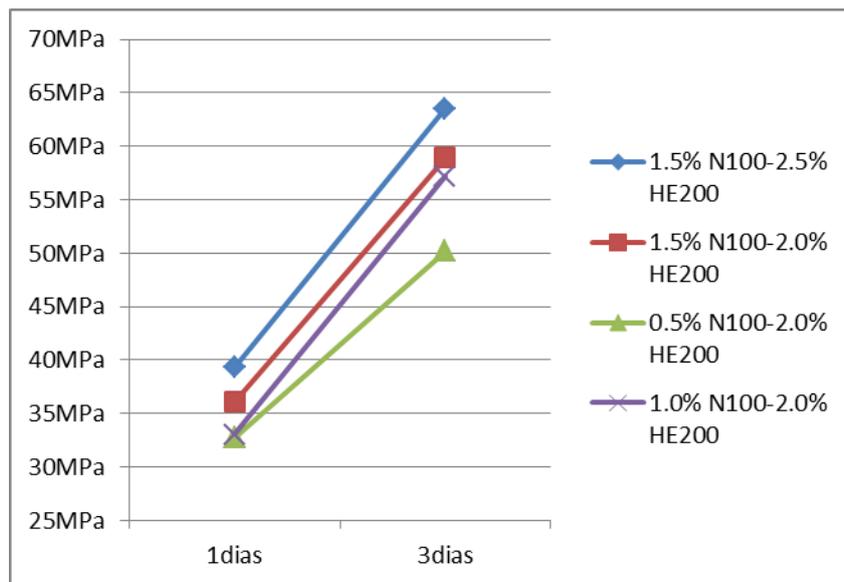
Ensayo	Patrón	1	2	3	4	Unidad
Contenido de Cemento	540	540	540	540	540	kg
Relación a/c	0,35	0,33	0,34	0,36	0,28	-
Flujo	105	109	110	111	109	%
Resistencia a 1 día	25,9	26,70	32,36	29,70	27,70	MPa
Resistencia a 3 días	44,5	38,00	48,70	53,10	62,20	MPa
Sikament MR	-	0,1%	0,1%	0,1%	0,4%	%
Sikament N100	-	1,0%	1,0%	1,0%	1,4%	%
Sikament HE 200	-	2,4%	2,4%	2,4%	2,0%	%
Sika fume(microsilice)	-	-	4	8	-	%



Dosificaciones de Mortero Equivalente

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: JacobMosquera
Fecha: 07/04/2014

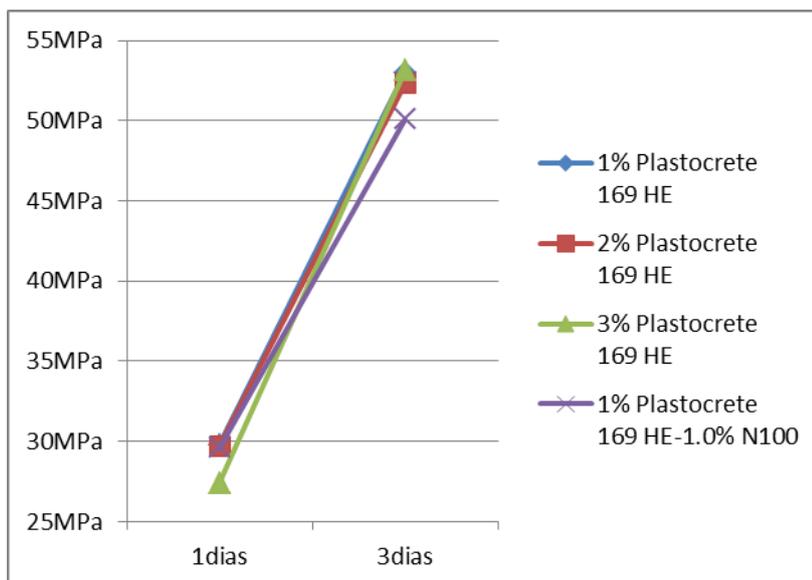
Ensayo	5	6	7	8	Unidad
Contenido de Cemento	540	540	540	540	Kg
Relación a/c	0,29	0,32	0,31	0,31	-
Flujo	105	106	115	113	%
Resistencia a 1 día	39,30	36,10	32,70	33,00	MPa
Resistencia a 3 días	63,50	58,90	50,20	57,20	MPa
Sikament MR	-	-	-	-	%
Sikament N100	1,5%	1,5%	0,5%	1,0%	%
Sikament HE 200	2,5%	2,0%	2,0%	2,0%	%
Sika fume(microsilice)	-	-	-	-	%



Dosificaciones de Mortero Equivalente

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Fecha: 07/04/2014

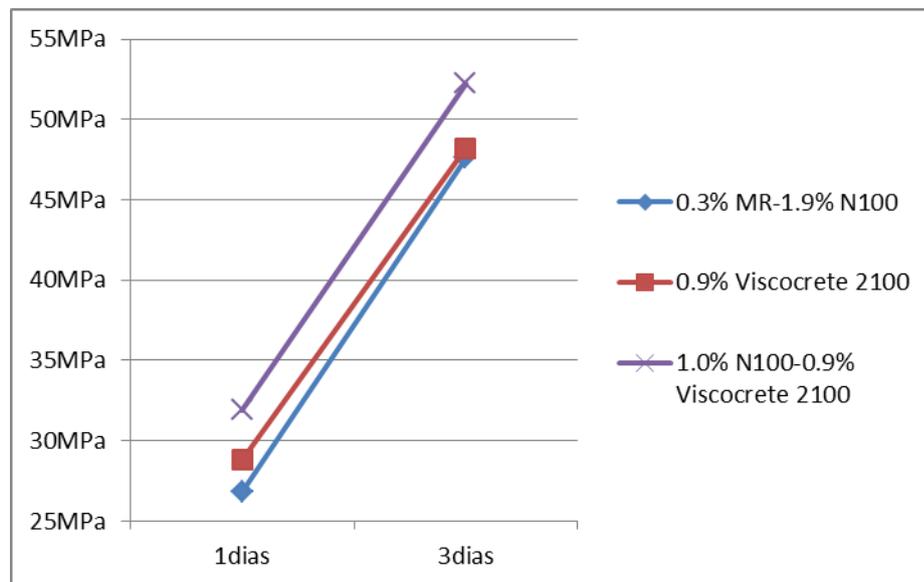
Ensayo	9	10	11	12	Unidad
Contenido de Cemento	540	540	540	540	Kg
Relación a/c	0,35	0,34	0,34	0,34	-
Flujo	105	105	105	114	%
Resistencia a 1 día	29,80	29,70	27,40	29,60	MPa
Resistencia a 3 días	53,00	52,30	53,10	50,10	MPa
Plastocrete 169 HE	1,0%	2,0%	3,0%	1,0%	%
Sikament N100	-	-	-	1,0%	%
Sikament HE 200	-	-	-	-	%
Sika fume(microsilice)	-	-	-	-	%



Dosificaciones de Mortero Equivalente

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Fecha: 07/04/2014

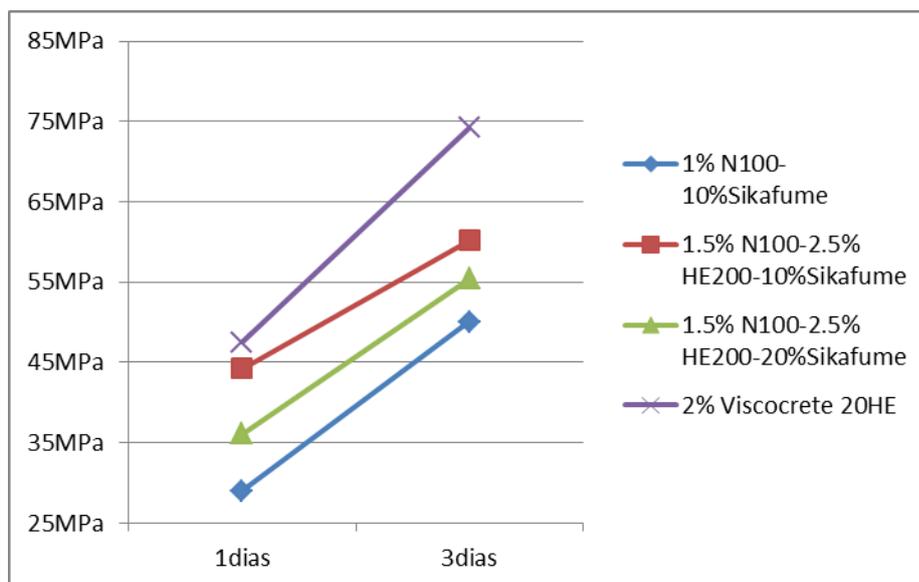
Ensayo	13	14	15	Unidad
Contenido de Cemento	540	540	540	Kg
Relación a/c	0,33	0,31	0,29	-
Flujo	114	112	110	%
Resistencia a 1 día	26,80	28,80	31,90	MPa
Resistencia a 3 días	47,60	48,20	52,24	MPa
Sikament MR	0,3%	-	-	%
Sikament N100	1,9%	-	1,0%	%
Sikament HE 200	-	-	-	%
Viscocrete 2100	-	0,9%	0,9%	%



Dosificaciones de Mortero Equivalente

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Fecha: 07/04/2014

Ensayo	16	17	18	19	Unidad
Contenido de Cemento	700	700	700	540	kg
Relación a/c	0,33	0,34	0,36	0,35	-
Flujo	109	110	111	110	%
Resistencia a 1 día	29,00	44,20	36,10	47,50	MPa
Resistencia a 3 días	50,02	60,20	55,40	74,23	MPa
Viscocrete 20 HE	-	-	-	2,0%	%
Sikament N100	1,0%	1,5%	1,5%	-	%
Sikament HE 200	-	2,5%	2,5%	-	%
Sika fume(microsilice)	10,0%	10,0%	20,0%	-	%



ANEXO 8

Abrasión de "Los Ángeles"

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Fecha: 14/05/2014
Material: Piedra #67

GRADACIÓN TIPO : B

PESO INICIAL	5000	Gr
NÚMERO DE VUELTAS	500	
PESO RETENIDO EN TAMIZ#12	3778	Gr
ABRASIÓN DE "LOS ÁNGELES"	24,44	%

Abrasión de "Los Ángeles"

Laboratorio: Centro Técnico del Hormigón
Realizado por: Jacob Mosquera
Fecha: 14/05/2014
Material: Piedra #78

GRADACIÓN TIPO : C

PESO INICIAL	5000	Gr
NÚMERO DE VUELTAS	500	
PESO RETENIDO EN TAMIZ#12	3722	Gr
ABRASIÓN DE "LOS ÁNGELES"	25,56	%

ANEXO 9

Valor de Pulso Ultrasónico			
Laboratorio:	Centro Técnico del Hormigón		
Realizado por:	Jacob Mosquera		
Fecha:	12/01/2015		
Muestra:	Probeta de Hormigón de Módulo de Rotura 4,5 MPa a las 24 horas		
Curado:	Curado estandar por 24 horas		
	N°	Velocidad (mts/seg)	Tiempo mc/seg
Número de Lecuras	1	4540	33,7
	2	4473	34,2
	3	4396	34,8
	4	4447	34,4
	Promedio	4464	34,3
	W	2300	
	Ed	4,7E+15	

ANEXO 10

PERMEABILIDAD AL AIRE DEL HORMIGÓN

Diseño de Hormigón de Alto desempeño			
	f'c (Mpa) 1 día	kt	Densidad(kg/m3)
Curados al agua	26,0	$0.05 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	2300
Diseño de Hormigón Convencional			
	f'c (Mpa) 28 días	kt	Densidad(kg/m3)
Sin curar	19,4	$4.812 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$	2180,04

ANEXO 11 FOTOGRAFÍAS

Fotografía 7.1 Preparación de materiales para prueba



Fotografía 7.2 Agregados Finos y Gruesos



Fotografía 7.3 Colocación de agregados en la mezcladora



Fotografía 7.4 Mezcla de agregados



Fotografía 7.5 Mezclado de agregados con agua por varios minutos



Fotografía 7.6 Vigas sobre superficie nivelada



Fotografía 7.7 Moldeo de vigas en 2 capas



Fotografía 7.8 Colocación de plástico para prevenir la pérdida de humedad



Fotografía 7.9 Desencofrado de vigas



Fotografía 7.10 Rotura de Vigas



Fotografía 7.11 Rotura en el tercio medio



Fotografía 7.12 Rotura de los agregados y no desprendimiento



Fotografía 7.13 Ensayo de Ultrasonido



Fotografía 7.14 Ensayo de permeabilidad al Aire



7.3 Bibliografía

(INEN), I. E. (2011). *CEMENTO HIDRÁULICO. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.*

Quito - Ecuador.

(NEC), N. E. (2014). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO.* En C.

MIDUVI.

ACI. (2014). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal,*

Heavyweight, and Mass Concrete.

ACI201.2R-08. (2014). *GUIDE TO DURABLE CONCRETE.*

AİTCIN, P.-C. (1998). *CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO.* HOLCIM

GROUP SUPPORT LTD.

Proceq. (2015). *www.proceq.com.* Obtenido de *www.proceq.com*

SIKA, E. (2012). *Manual de Productos de Sika Ecuatorina S.A.* Guayaquil:

Sika Ecuatoriana S.A.

Steven H. Kosmatka, B. K. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto.*

Portland Cement Association (PCA) - 2004.