



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil”

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA
ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA
MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS
ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS**

Autor: (es)

Mario Enrique Cayambe Cayambe
Flor Cristina Pérez Garrido

Director: Ing. Javier Palacios

Riobamba – Ecuador
2013

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: Obtención de concreto de alta resistencia mediante la adición de microsílice y superplastificantes en la mezcla, para su aplicación en elementos estructurales sometidos a grandes esfuerzos, presentado por: Mario Enrique Cayambe Cayambe y Flor Cristina Pérez Garrido y dirigida por: Ing. Javier Palacios.

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Ángel Paredes

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Firma

Ing. Javier Palacios

DIRECTOR DEL PROYECTO

Firma

Ing. Franklin Pucha

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Mario Enrique Cayambe Cayambe y Flor Cristina Pérez Garrido y del Director del Proyecto Ing. Javier Palacios; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo”.

AGRADECIMIENTO

Damos gracias principalmente a Dios, porque Él ha hecho posible que este Trabajo de Graduación llegue a su fin exitosamente, además porque nos ha protegido durante la elaboración del mismo.

Queremos agradecer además a los Ingenieros Javier Palacios Director del Proyecto, Franklin Pucha Técnico del Control de Materiales de la UNACH, por compartir sus conocimientos con nosotros, convirtiéndose así, en un apoyo fundamental por el cual ha sido posible la culminación de este trabajo, a la empresa Sika por su colaboración. Finalmente agradecemos a todas las personas que con su esfuerzo contribuyeron con el desarrollo de esta Investigación

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, por ser el pilar más importante por sacarnos adelante junto a mis hermanos Alex y Darío.

A mi Papá Maxito, Mario y Luis Ricaurte porque gracias a sus consejos y apoyo cumplí mi meta de ser profesional.

A mi madrinita Antonieta que desde el cielo ha guiado mis pasos.

A mi segunda familia Raúl, Noemí, Mariella y a mi amor Flor Pérez por su gran apoyo.

Mario E. Cayambe C.

A Dios por siempre llenarme de fe y fuerza para cumplir mis metas, a mis padres por su paciencia, apoyo y guía, a mi angelito que desde el cielo siempre me ha cuidado a ti Jessy, a mis hermanas y a mis cuatro amores Steven, Kristen, Martín y Mario que siempre han estado pendientes de mi desarrollo personal y profesional

Flor C. Pérez G.

ÍNDICE

PORTADA.....	I
PÁGINA DE REVISIÓN.....	II
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
DEDICATORIA.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS.....	XVI
RESUMEN.....	XVIII
SUMMARY.....	XIX

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	20
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	20
1.1 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.....	20
1.2 VARIABLES BASICAS QUE INTERVIENEN EN LAS MEZCLAS DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA	21
1.3 CEMENTO	22
1.3.1 Historia del cemento portland.....	22
1.3.2 Cemento portland.....	23
1.4 AGREGADOS	25
1.4.1 Propiedades de los agregados	27
1.4.2 Clasificación general del agregado	28
1.4.3 Forma y Textura de las partículas	29
1.5 AGUA	32
1.5.1 Requisitos para el agua de amasado.....	32
1.6 ADITIVOS	34
1.6.1 Tipos de aditivos.....	38
1.7 ADICIONES	42
1.8 MATERIALES CONTITUYENTES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	43
1.9 SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES	53
1.9.1 Resistencia requerida	55
1.9.2 Edad de ensayo	58
1.9.3 Relación agua-material cementante	60
1.9.4 Contenido de cemento	62
1.9.5 Proporciones del agregado.....	64
1.9.6 Proporcionamiento con aditivos	67
1.9.7 Efecto de la trabajabilidad en las proporciones	69
1.9.8 Mezclas de prueba	70
1.10 PROPIEDADES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EN ESTADO FRESCO.....	71
1.10.1 Superficie interna.....	72
1.10.2 Color.....	72
1.10.3 Aire incorporado	72
1.10.4 Cohesividad.....	73
1.10.5 Trabajabilidad	74
1.10.6 Demanda de agua.....	75
1.10.7 Asentamiento	76
1.10.8 Tiempo de adición	76

1.10.9 Segregación	77
1.10.10 Exudación.....	77
1.10.11 Contracción plástica.....	78
1.10.12 Fraguado y Endurecimiento.....	79
1.10.13 Calor de hidratación.....	80
1.10.14 Peso unitario.....	80
1.11 PROPIEDADES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA ENDURECIDO	80
1.11.1 Resistencia a la compresión.....	81
1.11.2 Resistencias en tensión y flexión.....	82
1.11.3 Durabilidad.....	82
1.11.4 Módulo de elasticidad.....	82
1.11.4 Módulo de ruptura.....	83
1.11.5 Resistencia de fatiga	83
1.11.6 Permeabilidad y Porosidad	84
1.11.7 Contracción y expansión.....	84
1.11.8 Escurrimiento plástico	85
CAPÍTULO II.....	87
2. METODOLOGÍA.....	87
2.1 TIPO DE ESTUDIO	87
2.2 POBLACIÓN MUESTRA.....	88
2.2.1 Población	88
2.2.2 Muestra	89
2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	89
2.4 PROCEDIMIENTOS.....	92
2.4.1 Investigación sobre los agregados más apropiados a utilizarse en diseños de concreto en la ciudad de Riobamba	92
2.4.2 Procedimientos de ensayos de los materiales utilizados para la dosificación del Concreto de alta resistencia	93
2.4.2.1 Peso específico y absorción de agua del agregado fino	97
2.4.2.2 Determinación del porcentaje de Humedad del Árido Fino.....	99
2.4.2.3 Determinación de la Masa Unitaria Suelta del Árido Fino (MUS).....	100
2.4.2.4 Determinación de la Masa Unitaria Compactada del Árido Fino (MUC).....	101
2.4.2.5 Análisis Granulométrico del Árido Fino.....	103
2.4.2.6 Peso específico y absorción de agua del agregado grueso	104
2.4.2.7 Determinación del porcentaje de Humedad del Árido Grueso.....	106
2.4.2.8 Determinación de la Masa Unitaria Suelta del Árido Grueso (MUS).....	107
2.4.2.9 Determinación de la Masa Unitaria Compactada del Árido Grueso(MUC)	108
2.4.2.10 Análisis Granulométrico del Árido Grueso	110
2.4.2.11 Determinación del Peso Específico del Cemento.	111

2.4.2.12 Determinación de la Masa Unitaria Suelta del Cemento	113
2.4.3 Procedimiento de diseño de mezclas de concretos de alta resistencia	115
2.4.4 Cálculo experimental del diseño de las mezclas de concreto de alta resistencia	121
2.4.5 Procedimiento de refrentado de especímenes cilíndricos de concreto	130
2.5 PROCESAMIENTO Y ANALISIS	131
CAPÍTULO III.....	134
3. RESULTADOS.....	134
3.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	134
3.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LAS DOSIFICACIONES	149
CAPÍTULO IV	152
4. DISCUSIÓN	152
4.1 VALIDEZ EXTERNA.....	154
4.1.1 Generalización de resultados	154
CAPITULO V	156
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	156
5.1 CONCLUSIONES	156
5.2 RECOMENDACIONES	158
CAPITULO VI.....	160
6. PROPUESTA	160
6.1 TITULO DE LA PROPUESTA	160
6.2 INTRODUCCIÓN	160
6.3 OBJETIVOS.....	160
6.3.1 Objetivo General.....	160
6.3.2 Objetivos Específicos	161
6.4 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO –TÉCNICA	161
6.4.1 Selección de los materiales a utilizarse.....	161
6.4.2 Propiedades del concreto de alta resistencia	163
6.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	165
6.5.1 Metodología de diseño para la elaboración del concreto de alta resistencia.....	165
6.5.2 Dosificación del concreto propuesto:.....	174
6.5.3 Resistencia a compresión del concreto propuesto.....	175
6.5.4 Módulo de elasticidad del concreto propuesto	180
6.5.5 Índice de ductilidad del concreto propuesto	182
6.6 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS	184
6.6.1 Análisis de precio unitario del concreto propuesto	184
6.7 DISEÑO ORGANIZACIONAL	187
6.8 MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	188
CAPITULO VII	189

7. BIBLIOGRAFÍA.....	189
CAPITULO VIII.....	191
8. APÉNDICES Y ANEXOS	191
ANEXO A:.....	191
HOJA TÉCNICA DE LA ADICIÓN EN POLVO “SIKAFUME”	191
ANEXO B:.....	194
HOJA TÉCNICA DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE “VISCOCRETE 2100”	194
ANEXO C:.....	197
CERTIFICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I	197
ANEXO D:.....	199
RESULTADO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN DEL CONCRETO PROPUESTO	199
ANEXO E:	201
REGISTRO FOTOGRÁFICO	201

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1:</i> Materiales que intervienen en la mezcla de un concreto de alta resistencia.....	3
<i>Tabla 2:</i> Compuestos principales del Cemento Portland del cemento.....	7
<i>Tabla 3:</i> Importancia relativa de las propiedades de los agregados.....	14
<i>Tabla 4:</i> Tipos de aditivos químicos.....	20
<i>Tabla 5:</i> Distribución de Probetas para su respectivo ensayo.....	71
<i>Tabla 6:</i> Operalización de la Variable Independiente.....	72
<i>Tabla 7:</i> Operalización de la Variable Dependiente.....	73
<i>Tabla 8:</i> Factor de modificación para la desviación estándar	77
<i>Tabla 9:</i> Slump recomendado para concretos de Alta Resistencia.....	97
<i>Tabla 10:</i> Tamaño máximo del agregado grueso.....	98
<i>Tabla 11:</i> Volumen de Agregado Grueso por unidad de volumen de concreto.....	99
<i>Tabla 12:</i> Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire.....	100
<i>Tabla 13:</i> Relación agua/material cementicios para concretos sin superplastificant.....	100
<i>Tabla 14:</i> Relación agua/material cementicios para concretos con superplastificant.....	101
<i>Tabla 15:</i> Datos de los materiales que intervienen en la obtención de un CAR.....	105
<i>Tabla 16:</i> Proporción de los materiales.....	107
<i>Tabla 17:</i> Proporción de la mezcla en peso.....	107
<i>Tabla 18:</i> Proporción de la mezcla usando cemento y microsílíce.....	108
<i>Tabla 19:</i> Proporción de los materiales por m ³	108
<i>Tabla 20:</i> Volumen del agregado fino por m ³	109
<i>Tabla 21:</i> Proporción de la mezcla en peso.....	109
<i>Tabla 22:</i> Pesos corregidos de los materiales.....	110
<i>Tabla 23:</i> Datos de los moldes cilíndricos.....	110
<i>Tabla 24:</i> Pesos de los materiales para elaborar la “prueba de mezclas 1”.....	110
<i>Tabla 25:</i> Pesos corregidos de los materiales.....	111
<i>Tabla 26:</i> Datos de los moldes cilíndricos.....	111
<i>Tabla 27:</i> Pesos de los materiales para elaborar la “prueba de mezclas 2”.....	111
<i>Tabla 28:</i> Resultados de los ensayos realizados de los materiales.....	116
<i>Tabla 29:</i> Resultado del contenido de humedad del agregado grueso.....	118
<i>Tabla 30:</i> Resultado del peso específico del agregado grueso.....	119
<i>Tabla 31:</i> Resultado de la capacidad de absorción del agregado grueso.....	120
<i>Tabla 32:</i> Resultado de la masa unitaria suelta del agregado grueso.....	121

<i>Tabla 33:</i> Resultado de la masa unitaria compactada del agregado grueso.....	122
<i>Tabla 34:</i> Resultado del análisis granulométrico del agregado grueso.....	123
<i>Tabla 35:</i> Resultado del contenido de humedad del agregado fino.....	124
<i>Tabla 36:</i> Resultado del peso específico del agregado fino.....	125
<i>Tabla 37:</i> Resultado de la capacidad de absorción del agregado fino.....	126
<i>Tabla 38:</i> Resultado de la masa unitaria suelta del agregado fino.....	127
<i>Tabla 39:</i> Resultado de la masa unitaria compactada del agregado fino.....	128
<i>Tabla 40:</i> Resultado del análisis granulométrico del agregado fino.....	129
<i>Tabla 41:</i> Resultado del peso específico del cemento.....	130
<i>Tabla 42:</i> Resultado de la masa unitaria suelta del cemento.....	131
<i>Tabla 43:</i> Resultados del ensayo a compresión de la mezcla 1.....	132
<i>Tabla 44:</i> Resultados del ensayo a compresión de la mezcla 2.....	133
<i>Tabla 45:</i> Proporción de los materiales.....	152
<i>Tabla 46:</i> Proporción de la mezcla en peso.....	153
<i>Tabla 47:</i> Proporción de la mezcla usando cemento y microsílíce.....	153
<i>Tabla 48:</i> Proporción de los materiales por m ³	153
<i>Tabla 49:</i> Volumen del agregado fino por m ³	154
<i>Tabla 50:</i> Proporción de la mezcla en peso.....	154
<i>Tabla 51:</i> Pesos corregidos de los materiales.....	155
<i>Tabla 52:</i> Datos de los moldes cilíndricos.....	155
<i>Tabla 53:</i> Pesos de los materiales.....	155
<i>Tabla 54:</i> Dosificación del concreto de 50MPa.....	156
<i>Tabla 55:</i> Resistencia a compresión del concreto (7días).....	157
<i>Tabla 56:</i> Resistencia a compresión del concreto (14días).....	158
<i>Tabla 57:</i> Resistencia a compresión del concreto (21días).....	159
<i>Tabla 58:</i> Resistencia a compresión del concreto (28días).....	160
<i>Tabla 59:</i> Curva Característica del concreto “Resistencia vs Tiempo”.....	161
<i>Tabla 60:</i> Resultados del Módulo de Elasticidad.....	162
<i>Tabla 61:</i> Comparación del Módulo de Elasticidad (21 MPa vs 50MPa).....	163
<i>Tabla 62:</i> Resultados del Índice de Ductilidad.....	164
<i>Tabla 63:</i> Comparación del Índice de Ductilidad (21 MPa vs 50MPa).....	165
<i>Tabla 64:</i> Análisis de Precio Unitario para un Concreto de 50MPa.....	167
<i>Tabla 65:</i> Análisis de Precio Unitario para un Concreto de 21MPa.....	168

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Agregados para Concreto.....	8
<i>Figura 2:</i> Instrumental de ensayo.....	79
<i>Figura 3:</i> Muestra del agregado fino.....	82
<i>Figura 4:</i> Ejecución del MUC del agregado fino.....	85
<i>Figura 5:</i> Tamizadora con serie de tamices para áridos finos.....	86
<i>Figura 6:</i> Instrumental de ensayo obtención peso específico.....	88
<i>Figura 7:</i> Ejecución del MUC del agregado grueso.....	92
<i>Figura 8:</i> Tamizadora con serie de tamices para áridos gruesos.....	93
<i>Figura 9.-</i> Instrumental de ensayo peso específico cemento.....	94
<i>Figura 10:</i> Determinación de la masa de cemento.....	96
<i>Figura 11:</i> Instrumental de ensayo para refrendado.....	112
<i>Figura 12:</i> Especímenes de concreto endurecido capeado con mortero de sulfuro.....	113
<i>Figura 13:</i> Secuencia del proceso de investigación.....	115
<i>Figura 14:</i> Disgregación del concreto por falla explosiva.....	146
<i>Figura 15:</i> Diagrama $\sigma - \epsilon$ para el concreto.....	147
<i>Figura 16.-</i> Muestra del agregado grueso.....	148
<i>Figura 17.-</i> Muestra del agregado fino.....	149
<i>Figura 18.-</i> Presentación del cemento.....	149
<i>Figura 19.-</i> Presentación de la microsílíce.....	150
<i>Figura 20.-</i> Presentación del superplastificante.....	151
<i>Figura 21:</i> Diseño Organizacional de la Propuesta.....	169
<i>Figura 22:</i> Obtención de las propiedades del agregado fino.....	184
<i>Figura 23:</i> Obtención de las propiedades del agregado grueso.....	184
<i>Figura 24:</i> Obtención del peso específico del cemento.....	185
<i>Figura 25:</i> Materiales empleados en la elaboración del concreto.....	185
<i>Figura 26:</i> Agregados empleados en la elaboración del concreto.....	186
<i>Figura 27:</i> Elaboración del concreto de alta Resistencia.....	186
<i>Figura 28:</i> Asentamiento del concreto de alta Resistencia.....	187
<i>Figura 29:</i> Toma de muestras del concreto de alta Resistencia.....	187
<i>Figura 30:</i> Toma de muestras del concreto de alta.....	188
<i>Figura 31:</i> Tanque de curado.....	188
<i>Figura 32:</i> Ensayo a compresión de los especímenes.....	189
<i>Figura 33:</i> Diferente falla de los especímenes.....	190

Figura 34: Ensayo para determinar el módulo de elasticidad.....190

GLOSARIOS DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

ACI.- American Concrete Institute.

Aditivo.- Material que se mezcla en cantidades limitadas con el mortero, para facilitar la fabricación o manipuleo del compuesto y modificar sus propiedades.

Adición.- Material inorgánico finamente dividido, utilizado en el concreto para mejorar ciertas propiedades o lograr propiedades especiales.

Agregado fino.- Material que atraviesa un tamiz de 9.5 mm (3/8 in) y atraviesa casi totalmente un tamiz de 4.75 mm (No 4) mientras que es predominante retenido sobre el tamiz de 75 μ m (No 200).

Asentamiento.- Revenimiento del concreto cuando se ensaya en el cono de Abrams.

ASTM. - American Society for Testing and Material.

Concreto de alta resistencia.- Aquel que alcanza una resistencia igual o superior a los 50 MPa a los 28 días.

Concreto endurecido.- El concreto se encuentra en este estado cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentoso producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto.

Concreto fresco.- Mezcla de concreto recién elaborada, la cual es una masa plástica que puede ser moldeada con relativa facilidad, y que a temperatura normal de prueba permanece en ese estado durante pocas horas. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el principio de la rigidez del mismo.

Curado.- Procedimiento para mantener en el concreto, los contenidos de humedad y temperatura en condiciones satisfactorias, durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.

Dosificación.- Proporción en las que se deben mezclar los componentes de una mezcla.

Ensayos.- Prueba, examen, observación o evaluación que se usa para medir una característica física o química de un material, o una característica física de una estructura o elemento estructural.

Espécimen.- Porción de concreto que se considera para mostrar las cualidades de la mezcla.

INEN.- Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Mina.- Yacimiento o fuente de materiales de construcción, siempre que no se trate de yacimientos de roca sólida (Cantera).

Microsílice.- El comité 166 del American Concrete Institute define así al microsílíce: “una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro silicio”.

NTE.- Norma Técnica Ecuatoriana.

Plastificante.- Material que aumenta la plasticidad de una plasta cementicia mortero u concreto fresco. Ingrediente reductor del agua capaz de producir una gran reducción de agua o una gran fluidez sin provocar un retraso indebido del fraguado ni la incorporación del aire en el mortero u hormigón.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación presenta lo concerniente a un concreto de alta resistencia (CAR) dosificado con materiales propios de la Provincia de Chimborazo y aditivos comerciales, este concreto de alta resistencia es de gran importancia para la evolución estructural de grandes estructuras como edificios, puentes de gran envergadura.

En el trabajo de investigación se desarrollaran los procedimientos a seguir para obtener un concreto de alta resistencia, además se presentan las normas y especificaciones que deben de regirse para cada uno de los materiales utilizados y los métodos de ensayo.

Se presenta un diseño basado en el método propuesto por el comité ACI 211.4 para una mezcla de concreto que tenga una resistencia a compresión a los 28 días de 50 MPa utilizando agregado grueso de la mina cerro negro, agregado fino proveniente de la mina de Penipe, cemento Rocafuerte, microsílíce en su presentación Sikafume acompañado de superplastificante Viscocrete 1110 distribuido por la fábrica Sika a nivel nacional.

En el desarrollo de la investigación, se realizaron distintas mezclas de comparación utilizando diferentes porcentajes de microsílíce y superplastificante para determinar las cantidades óptimas a utilizar en el diseño, estas mezclas fueron comprobadas ensayando cilindros a 7 y 28 días.

Una vez que se obtuvo los resultados anteriores se realizó un diseño definitivo con las proporciones óptimas de agregados y aditivos para obtener las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto de alta resistencia. El concreto de alta resistencia se obtiene en mayor escala, teniendo en cuenta que la relación de agua/cemento utilizada sea considerablemente baja.

SUMMARY

The present research work presents the concerning to a concrete high strength (CAR) dosed with typical materials of the province of Chimborazo and business additives, this high strength concrete is of great importance for the structural evolution of large structures like big buildings and bridges.

In the research procedures were developed to follow to obtain a concrete high strength, in addition the standards and specifications must be bound to each of the used materials and the methods of test that are presented.

It presents a design based on the proposed method by the ACI 211.4 Committee for a mixture of concrete that has a compressive strength at 28 days of 50 MPa using aggregate thickness of Cerro Negro mine, with fine aggregate coming from the mine of Penipe, cement Rocafuerte, microsilica with Sika-fume presentation accompanied by superplasticizer Viscocrete 1110 distributed by Sika factory around all the country.

In the development of the research, we did different mixtures of comparison using different percentages of microsilica and superplasticizer to determine the optimal amounts to use in the design; these mixtures were tested by testing cylinders to 7 and 28 days.

Once the previous results obtained, was a final design with the optimal proportions of aggregates and additives to obtain the properties of high strength concrete in fresh and hardened. High strength concrete is obtained on a larger scale, paying attention that the used of water/cement is considerably low.

INTRODUCCIÓN

En la década de los 50, los concretos con una resistencia en compresión de 35 MPa a los 28 días eran considerados como de alta resistencia. En la década de los 60 se empleó comercialmente, en Estados Unidos y Japón, concretos con resistencia a la compresión de 50 MPa a los 28 días.

Este incremento ha sido posible como resultado del notable desarrollo de la tecnología de los materiales, especialmente adiciones y aditivos, y de las investigaciones de laboratorio orientado a satisfacer la demanda de los profesionales, por concretos de resistencia cada vez mayores. Dentro de los diferentes tipos de estructuras que se usan en nuestro medio, podemos observar que cada vez resulta más frecuente recurrir a elementos estructurales que sean capaces de salvar grandes luces, lo que obliga a utilizar elementos de grandes secciones para soportar las cargas actuantes, para lo cual al usar materiales y métodos tradicionales se encarece la obra haciéndola económicamente no viable y arquitectónicamente poco atractiva.

Debido a que en la provincia de Chimborazo se encuentra en la actualidad en una etapa de gran crecimiento en lo que se refiere a infraestructura de grandes proporciones, vemos la necesidad de reducir costos de construcción tomando como principal factor la reducción de secciones, modificando las características mecánicas del concreto. El desarrollo de este tipo de investigaciones en nuestra ciudad es algo nuevo y se desea aportar con un estudio que permita el diseño y construcción de grandes estructuras con la inclusión de concretos de alta resistencia. El desempeño en elementos elaborados con CAR ha dado como resultado la obtención de elementos de secciones transversales pequeñas, reduciendo cargas producidas por el peso propio de los elementos, capaces de soportar grandes cargas. El incremento de la resistencia característica del concreto lleva asociada una mayor capacidad y, por tanto, una mayor resistencia ante el ataque de agentes agresivos externos al mismo. Lograr todo esto justifica la utilización de concretos de alta resistencia para lograr estructuras más económicas y arquitectónicamente más atractivas.

CAPITULO I

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Históricamente, desde el boom de la construcción de los rascacielos y el auge de la revolución industrial, el metal ha sido el material predilecto en cuanto a sistemas estructurales de gran envergadura. Sin embargo, con el pasar de los años la tecnología del concreto ha ido evolucionando aceleradamente, trayendo consigo notables aumentos de resistencias, mejorando exponencialmente al mismo tiempo sus características como material y sus posibilidades constructivas. Por esta razón, se ha ido incrementando progresivamente su uso en estructuras de edificios especialmente desplazando al uso del acero en muchos de los casos. El ACI define a un concreto de alta resistencia como aquel que alcanza una resistencia igual o superior a los 50 MPa a los 28 días, usualmente estos concretos son considerados como del alto desempeño, sin embargo para cumplir esta condición deben poseer además otras características como son una adecuada trabajabilidad y durabilidad. Por otro lado, la NRMCA (National Ready Mixed Concret Association) nos dice que un concreto de alta resistencia es un tipo de concreto de alto desempeño, que comúnmente tiene una resistencia a la compresión especificada de 6000 psi (40 MPa) o más. La resistencia a la compresión se mide a los 56 o 90 días por lo general, o a alguna otra edad especificada dependiendo de su aplicación. La producción del concreto de alta resistencia requiere mayor estudio así como un control de calidad más exigente en comparación con el concreto convencional. Según la misma institución (NMRCA), se buscará tener un concreto de alta resistencia para:

- Colocar el concreto en servicio a una edad mucho menor
- Reducir la sección de elementos estructurales
- Construir estructuras de grandes luces libres
- Mejorar la durabilidad de los elementos estructurales
- Satisfacer necesidades específicas de ciertas aplicaciones especiales como por

ejemplo módulo de elasticidad y resistencia a la flexión.

Concretos con resistencias de 140 MPa está siendo actualmente utilizado en edificios de gran altura en Estados Unidos y en Europa. La aplicación más común del concreto de alta resistencia ha sido en las columnas de edificaciones altas donde el concreto normal o convencional resultaría en secciones transversales inaceptablemente grandes, con la pérdida de espacio valioso de piso útil. Se ha demostrado que la utilización de mezclas de concreto de alto desempeño, aunque más costosas, no solamente aumenta el área de piso utilizable, sino que también resulta más económico que aumentar la cantidad de acero de refuerzo.

1.2 VARIABLES BASICAS QUE INTERVIENEN EN LAS MEZCLAS DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

Actualmente se entiende que una mezcla está conformada por 5 componentes: cemento, agregados, agua, aditivos y adiciones. Las propiedades de un concreto de alta resistencia están dadas por las variaciones de tipo y cantidad de estos componentes. Se hace un recuento básico de estas variables.

Tabla 1: Materiales que intervienen en la mezcla de un concreto de alta resistencia.

Material	Variables
Cemento	Tipo de Cemento Propiedades especiales
Agregados	Normales, ligeros, pesados. Naturales, chancados. Gradación, forma, textura.
Agua	Límites de componentes dañinos al concreto
Adiciones	Microsílice, ceniza volante Pigmentos Fibras
Aditivos	Plastificantes, superplastificantes, Acelerantes, retardantes

Fuente: Tecnología del Concreto Tomo I.

1.3 CEMENTO

1.3.1 Historia del cemento portland

Hasta el siglo XVIII puede decirse que los únicos conglomerantes empleados en la construcción fueron los yesos y las cales hidráulicas, sin embargo, es durante este siglo cuando se despierta un interés notable por el conocimiento de los cementos. John Smeaton, ingeniero de Yorkshire (Inglaterra), al reconstruir en 1758 el faro de Eddystone en la costa de Cornish, se encuentra con que los morteros formados por la adición de una puzolana a una caliza con alta proporción de arcilla eran los que mejores resultados daban frente a la acción de las aguas marinas y que la presencia de arcilla en las cales, no sólo las perjudicaba sino que por el contrario, las mejoraba, haciendo que estas cales fraguasen bajo el agua y que una vez endurecidas fuesen insolubles en ella.

Puede decirse con acierto que el primer padre del cemento fue Vicat a él se debe el sistema de fabricación que se sigue empleando en la actualidad y que propuso en 1817. Vicat fue un gran investigador y divulgador de sus trabajos; en 1818 publicó su "Recherches experimentales" y en 1828 "Mortiers et ciments calcaires". En estos trabajos marca la pauta a seguir en la fabricación del cemento por medio de mezclas calizas y arcillas dosificadas en las proporciones convenientes y molidas conjuntamente. El sistema de fabricación que empleó Vicat fue el de vía húmeda y con él marcó el inicio del actual proceso de fabricación. Este gran científico en 1853 empieza a estudiar la acción destructiva del agua de mar sobre el mortero y hormigón. En 1824, un constructor de Leeds en Inglaterra, daba el nombre de cemento portland y patentaba un material pulverulento que amasado con agua y con arena se endurecía formando un conglomerado de aspecto parecido a las calizas de la isla de Portland. Probablemente, el material patentado por Aspdin era una caliza hidráulica debido, entre otras cosas, a las bajas temperaturas empleadas en la cocción.

En 1838 Brunel emplea por primera vez un cemento procedente de la fábrica de

Aspdin en el que se había logrado una parcial sinterización por elección de una temperatura adecuada de cocción. Este cemento se aplicó en la construcción de un túnel bajo el río Támesis en Londres.

Puede decirse que el prototipo del cemento moderno fue producido a escala industrial por Isaac Johnson quien en 1845 logra conseguir temperaturas suficientemente altas para clinkerizar a la mezcla de arcilla y caliza empleada como materia prima. El intenso desarrollo de la construcción de ferrocarriles, puentes, puertos, cemento y las fábricas de éste, especialmente las de cemento natural, empiezan a extenderse por doquier.

Es a partir de 1900 cuando los cementos portland se imponen en las obras de ingeniería y cuando empieza un descenso veloz del consumo de cementos naturales. Actualmente, el cemento portland ha llegado a una gran perfección y es el material industrializado de construcción de mayor consumo.

Se puede decir que el cemento es el alma del hormigón, yendo destinada, prácticamente, toda su producción a enlazar piedras sueltas para crear el material pétreo que conocemos como concreto.

Las investigaciones llevadas a cabo por los padres del cemento Michaelis y Le Chatelier, en 1870 y 1880, fueron fundamentales y muy meritorias para el desarrollo de este material. En ellas se apoya toda la investigación actual que emplea técnicas de análisis muy sofisticadas y rápidas.

1.3.2 Cemento portland

En el sentido general de la palabra, el cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Esta definición abarca una gran variedad de materiales de cementación.

Para efectos de construcción, el significado del término cemento se restringe a materiales aglutinantes con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción. Los cementos que se utilizan en la fabricación de concreto tienen la propiedad

de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química.

Composición química del cemento portland

Hemos visto que las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento Portland consisten principalmente de cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos compuestos interactúan en el horno, para formar una serie de productos más complejos, hasta alcanzar un estado de equilibrio químico, con la excepción de un pequeño residuo de cal no combinada, que no ha tenido suficiente tiempo para reaccionar. Sin embargo, el equilibrio no se mantiene durante el enfriamiento, y la velocidad de éste afecta el grado de cristalización y la cantidad de material amorfo presente en el clinker enfriado. Las propiedades de este material amorfo, conocido como vidrio difieren considerablemente de las de compuestos cristalinos de una composición química nominal similar. Otra complicación aparece debido a la interacción de la parte líquida del clinker con los compuestos cristalinos ya presentes.

No obstante, se puede considerar que el cemento se encuentra en un estado de equilibrio congelado, es decir, que los productos congelados reproducen el equilibrio existente durante la temperatura de formación de clinker. De hecho, se hace esta suposición para calcular la composición de compuestos de los cementos comerciales; la composición "potencial" se calcula a partir de las cantidades medibles de óxidos que están presentes en el clinker, como si se hubiera producido una cristalización completa de los productos en equilibrio.

Se suelen considerar cuatro compuestos como los componentes principales del cemento; se enumeran en la tabla 2, junto con sus símbolos de abreviación. Esta anotación abreviada, utilizada por los químicos del cemento, describe cada óxido con una letra, a saber: $\text{CaO}=\text{CC}$; $\text{SiO}_2=\text{S}$; $\text{Al}_2\text{O}_3=\text{A}$; y $\text{Fe}_2\text{O}_3=\text{F}$. Análogamente, el H_2O del cemento hidratado se indica por una H.

Tabla 2: Compuestos principales del Cemento Portland del cemento

Nombre de Compuesto	Composición del Óxido	Abreviatura
Silicato Tricálcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato dicálcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminato Tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Aluminoferrito tetracálcico	4CaO.Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	C ₄ SAF

Fuente: Tecnología del Concreto Tomo I¹ (7).

En realidad los silicatos que se encuentran en el cemento no son compuestos puros, pues contienen pequeñas cantidades de óxidos en soluciones sólidas. Estos óxidos tienen efectos importantes en los ordenamientos atómicos, las formas cristalinas y las propiedades hidráulicas de estos silicatos.

1.4 AGREGADOS

Se definen como tales los materiales pétreos inertes resultantes de la desintegración natural de rocas o que se obtienen de la trituración de las mismas. Éstos ocupan típicamente las tres cuartas partes del volumen en el concreto, deben estar libres de suciedad, ser durables, y no deben tener sustancias que reaccionen químicamente con el cemento. Se clasifican en: agregado grueso (piedrín o grava) y agregado fino (arena).

La clasificación entre agregado fino y grueso se realiza basándose en su tamaño, de la siguiente manera: el fino tiene un diámetro menor al tamiz número 4 (4,76 mm), pero se recomienda que sea mayor que 74 µmm y el agregado grueso que son las partículas de un tamaño mayor a 4,76 mm.

Según la clasificación de estos por su forma, tenemos: el canto rodado, proveniente de cauces de ríos, forma redondeada, producen concretos de buena calidad y de ventajas como trabajabilidad o docilidad. El agregado triturado, proveniente de la desintegración de rocas en cantera, tiene ventajas por su

¹ TECNOLOGÍA DEL CONCRETO TOMO I, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto; A.M. Neville (7).

composición mineralógica más uniforme y cantos angulosos.



Figura 1: Agregados para Concreto

Fuente: ACI, Edición Noreste de México, A.C.

Una buena graduación de los agregados da lugar a concretos de mejores características y más económicos (el agregado grueso deberá tener partículas grandes, medianas y pequeñas como se observa en la figura 1; a otra escala). Para conseguir una granulometría apropiada se mezclan en proporciones adecuadas al menos 2 tipos de agregados.

Los agregados pueden ser utilizados en su estado natural o pueden provenir de un proceso de trituración. El agregado grueso triturado presenta mejores características de adherencia que el agregado natural, por lo que sus concretos pueden alcanzar mayor resistencia.

En el caso del agregado fino triturado (también conocido como polvo de piedra), su empleo no es el más apropiado desde el punto de vista económico pues a pesar de que presenta una resistencia de los granos apropiada, su granulometría tiende a ser demasiado homogénea lo que implica que se requiera una mayor cantidad de cemento para alcanzar la resistencia especificada del concreto, y por consiguiente genera un mayor costo. Los agregados deben estar libres de partículas orgánicas, sales, limos y arcillas que puedan afectar las reacciones químicas de fraguado o produzcan porosidades indeseables.

Dependiendo del tipo de concreto que se desee fabricar, se pueden emplear agregados ligeros, agregados normales o agregados pesados. También pueden utilizarse agregados artificiales.

La correspondencia entre la resistencia del concreto y la calidad y tipo de agregado usado en su composición está dada por la adherencia que tiene la pasta con el agregado más que por las características mecánicas del mismo. Diversos estudios muestran que para concretos de alta resistencia el tamaño máximo del agregado grueso debe mantenerse lo más pequeño posible.

Otros análisis han establecido que el agregado de roca triturada arroja mayores resistencias que la grava de canto rodado, se supone que la razón para esto es la gran adherencia que se desarrolla entre la pasta y las partículas angulosas. Se recomienda entonces que el agregado para la producción de concreto de alta resistencia sea limpio, 100% triturado y con el mínimo de partículas planas y/o alargadas. Se recomienda además, emplear en las mezclas de concretos una arena de alta resistencia (de un módulo de finura mayor de 3,2) debido al gran contenido de finos de los materiales cementantes

1.4.1 Propiedades de los agregados

Puesto que el agregado ocupa, por lo menos, tres cuartas partes del volumen del concreto, no es de sorprender que su calidad revista considerable importancia. El agregado limita la resistencia del concreto, ya que un agregado débil no puede producir concreto resistente y, además, afecta mucho la durabilidad y el comportamiento estructural del concreto.

El agregado se consideraba originalmente como un material inerte, que estaba disperso dentro de la pasta de cemento y cuya motivación era sobre todo económica. Es posible, sin embargo, adoptar el punto de vista contrario, y considerar el agregado como un material de construcción que se une a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento, de manera similar a la construcción de mampostería. De hecho, el agregado no es realmente inerte y sus propiedades

físicas y térmicas, y algunas veces también químicas, influyen sobre el comportamiento del concreto.

El agregado es más barato que el cemento y, por lo tanto, resulta económico poner en la mezcla un máximo de agregado y el mínimo posible de cemento. Pero la economía no es la única razón por la que se utiliza este material: el agregado confiere considerables ventajas técnicas al concreto, el cual tiene más estabilidad de volumen y mejor durabilidad que la pasta de cemento sola.

1.4.2 Clasificación general del agregado

El tamaño del agregado usado en el concreto varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en sección transversal. El tamaño máximo varía, pero en cualquier mezcla se incorporan partículas de diferentes tamaños; la distribución del tamaño de las partículas se llama granulometría. En la fabricación de concreto de "baja graduación" se usan a veces agregados de depósitos que contienen toda una variedad de tamaños, desde el más grande hasta el más pequeño; esto puede llamarse agregado de tamaño indiscriminado. La otra posibilidad, mucho más común, que se usa siempre en la fabricación de concreto de buena calidad, consiste en obtener el agregado en dos grupos de tamaños, por lo menos. La principal división se hace entre el agregado fino, que a menudo se llama arena, cuyo tamaño no excede de 5 mm o 3/16 plg y el agregado grueso, el cual comprende material de no menos de 5 mm. En los Estados Unidos, la división se hace por medio del tamiz No.4, de 4,76 mm. Más adelante volveremos a hablar sobre la granulometría, pero esta división básica nos permite distinguir el agregado fino del grueso. Conviene notar que el uso del término "agregado" (en el sentido de querer mencionar agregado grueso), en contraste con la arena no es correcto, aunque resulta comparativamente común.

Generalmente, se considera que la arena tiene un tamaño menor límite de alrededor de 0,07 mm o un poco menor. El material entre 0,06 mm y 0,002 mm se clasifica como limo, y las partículas menores se denominan arcilla. La marga es un depósito blando compuesto por arena, limo y arcilla en proporciones

aproximadamente iguales.

Todas las partículas de agregado proceden de una masa mayor, que puede haberse fragmentado por procesos naturales de intemperismo y abrasión o mediante la trituración artificial. Por lo tanto, muchas de las propiedades del agregado dependen de las propiedades de la roca original; tal es el caso de las propiedades químicas, la composición mineral, la descripción petrográfica, la densidad, la dureza, la resistencia, la estabilidad física y química, la estructura de poros, el color, etc. Por otra parte, algunas propiedades corresponden al agregado, pero no a la roca original: forma y tamaño de la partícula, textura superficial, absorción. Todas estas propiedades ejercen gran influencia en la calidad del concreto, ya sea fresco o endurecido.

Sin embargo, conviene agregar que aun cuando es posible examinar por sí solas las diversas propiedades del agregado, resulta difícil definir un buen agregado en términos que no sean "un agregado que produce buen concreto" (en las condiciones dadas). Si bien los agregados cuyas propiedades son todas satisfactorias producen siempre buen concreto, lo opuesto no es necesariamente válido, y por esto es preciso aplicar el criterio de comportamiento del concreto.

En particular se ha encontrado que el agregado puede resultar insatisfactorio en alguna característica y, a pesar de ello, no causar dificultades cuando se usa para concreto. Por ejemplo, una muestra de roca que se rompe al helarse, puede mantenerse íntegra dentro del concreto, sobre todo si las partículas del agregado están bien cubiertas por una pasta de baja permeabilidad. Sin embargo, el agregado que muestra deficiencias en más de una propiedad probablemente no producirá buen concreto. Por lo tanto, las pruebas del agregado ayudan a evaluar si será adecuado para el concreto.

1.4.3 Forma y Textura de las partículas

Además de las propiedades petrológicas del agregado, las características externas son importantes, en particular la forma de la partícula y su textura superficial.

La forma de un cuerpo de tres dimensiones es difícil de describir y, por lo tanto, conviene definir ciertas características geométricas de estos cuerpos.

La redondez mide el filo o la angularidad de las aristas y esquinas de una partícula. La redondez depende en gran medida de la dureza y la resistencia a la abrasión de la roca de donde proviene el agregado, así como del desgaste al cual la partícula ha sido sometida. En el caso de agregados obtenidos por trituradoras, la forma de la partícula depende de la naturaleza de la roca original y del tipo de quebradora y la relación de reducción, es decir, el cociente del tamaño del material puesto en la trituradora entre el tamaño del producto terminado.

Puesto que el grado de empaque de las partículas de un solo tamaño depende de su forma, la angularidad del agregado puede estimarse mediante la proporción de huecos en una muestra compactada de una manera prescrita. El tamaño de las partículas usadas en la prueba debe controlarse dentro de límites estrictos, y resulta preferible que estén entre cualquiera de los siguientes:

- 19 y 12,7 mm ($3/4$ y $1/2$ plg)
- 12,7 y 9,5 mm ($1/2$ y $3/8$ plg)
- 9,5 y 6,3 mm ($3/8$ y $1/4$ plg)
- 6,3 y 4,8 mm ($1/4$ y $3/16$ plg)

Un adelanto reciente para medir la angularidad de un agregado, tanto grueso como fino pero de un solo tamaño, es un factor de angularidad definido como la relación del volumen sólido del agregado suelto al volumen sólido de esferas de vidrio de granulometría específica; por lo tanto, se elimina el concepto de empaque, junto con el error que lo acompaña. La utilidad de esta prueba está aún por determinarse. El contenido de huecos del agregado puede calcularse a partir del cambio en el volumen de aire cuando se aplica una reducción conocida de presión; en consecuencia, el volumen de aire, o sea, volumen de espacio intersticial, puede calcularse.

Otro aspecto de la forma de agregados gruesos es la "esfericidad", que se define como función de la relación del área superficial de una partícula a su volumen. La esfericidad se relaciona con la estratificación y con el clivaje de la roca original y está influida también por la clase de equipo de trituración, cuando se ha reducido artificialmente el tamaño de las partículas. Las partículas con una relación de área superficial a volumen revisten interés particular, porque reducen la trabajabilidad de la mezcla. Las partículas elongadas o laminadas son de este tipo. La presencia de estas últimas partículas puede además afectar adversamente la durabilidad del concreto, porque tienden a orientarse en un solo plano, debajo del cual se forman huecos de aire y se acumula agua.

Una proporción de partículas elongadas o laminadas de más de un 10 a 15% del peso del agregado grueso, se considera indeseable, pero no se han establecido límites reconocibles.

La forma y la textura del agregado ejercen gran influencia en la resistencia del concreto. La resistencia o la flexión se ven más afectada que la resistencia a la compresión, y los efectos de la forma y la textura revisten particular importancia en el caso del concreto de alta resistencia. Algunos datos de se han reproducido en la tabla 3, pero esto tan sólo indica el tipo de influencia, ya que algunos otros factores pueden no haberse tomado en consideración.

No se conoce plenamente qué papel desempeñan la forma y la textura del agregado en el desarrollo de la resistencia del concreto, pero posiblemente la textura áspera produce una mayor fuerza de adhesión entre las partículas y la matriz de cemento. De igual modo, la mayor área superficial de un agregado angular significa que puede haber un aumento en la fuerza de adhesión.

Tabla3: Importancia relativa en promedio de las propiedades de los agregados que afectan la resistencia del concreto.

Propiedades del Concreto	Efecto relativo de las propiedades del agregado, en por ciento		
	Forma	Textura superficial	Módulo de elasticidad
Resistencia a la Flexión	31	26	43
Resistencia a la compresión	22	44	34

Fuente: Tecnología del Concreto Tomo I² (129).

La laminación y la forma del agregado grueso en general tienen un efecto apreciable sobre la trabajabilidad del concreto.

1.5 AGUA

El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas, en general, el agua potable es la adecuada para el concreto. Su función principal es hidratar el cemento, pero también se le usa para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Podrá emplearse agua no potable en la elaboración del concreto, siempre que se demuestre su idoneidad. Para ello se fabricaran cubos de mortero elaborados con ella y se ensayarán según la norma ASTM-C 109/109M-99. Si las resistencias obtenidas a los 7 y 28 días son por lo menos el 90% de las esperadas en morteros similares elaborados a base de agua potable el líquido es aceptable (ACI-3.4.3).

Es conveniente verificar, adicionalmente, que no contenga agentes que puedan reaccionar negativamente con el refuerzo.

1.5.1 Requisitos para el agua de amasado

El agua es otro de los elementos constituyentes del concreto. La importancia de su intervención en la resistencia, influye en términos de la relación que guarda con la cantidad, en peso, del cemento empleado en la dosificación. Algunos autores

² TECNOLOGÍA DEL CONCRETO TOMO I, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto; A.M. Neville (129).

llaman concentración a la relación inversa, es decir, el cociente que resulta de dividir la cantidad, en kg, del cemento empleado, por los litros de agua añadidos para efectuar el amasado de la mezcla. En general, la relación agua /cemento es la más usualmente empleada. Una relación agua/cemento superior a 0,6 permite la fabricación de concretos muy fluidos, fáciles de colocar en obra sin dar lugar a la formación de coqueas, pero poco resistentes. Desde un punto de vista mecánico, los concretos de calidad hay que amasarlos con unas relaciones agua/cemento siempre en peso, comprendidas entre 0,38 y 0,42. Son hormigones secas, ásperos, para colocarlos, se precisa el concurso de una energía de compactación. Solo mediante una adecuada vibración, bien sea de los encofrados, o bien mediante la inmersión de agujas vibratoras en el interior de la masa aun fresca durante el vertido, pueden conseguirse que el hormigón, pastoso, envuelva bien las armaduras penetrando por todos los requisitos que ellas dejan y constituyendo una masa compacta, sin burbujas, con un mínimo de poros.

Con independencia de este aspecto de la dosificación, el agua, como material, debe reunir unas condiciones mínimas de pureza. Las aguas sucias, las que llevan en suspensión arcilla u otros productos orgánicos, las residuales, las salinas, incluyendo entre ellas el agua del mar, las ácidas y las minerales, son inconvenientes para su empleo en el amasado y en el curado del hormigón. De un modo general, si bien con algunas excepciones, puede decirse que son utilizables, a estos efectos, todas las aguas que, por sus caracteres físicos y químicos, sean potables.

No ejercen efecto nocivo alguno sobre el concreto las aguas bacteriológicamente contaminadas. En el cinturón de las grandes urbes de las grandes ciudades se encuentran pozos abandonados con aguas contaminadas por las fugas del alcantarillado. Si el agua, filtrada por los estratos del terreno, es limpia hasta el punto de haber sido potable si no fuera por la citada contaminación, puede ser utilizada para la fabricación de hormigones. A veces incluso se la prefiere a la de la red de abastecimiento, sobre todo en aquellas ciudades en las que el agua potable sufre una fuerte cloración en la estación depuradora.

En los pocos casos de duda que se suelen presentar, se recurre, a reserva de efectuar un análisis químico más detallado, al estudio comparativo de las resistencias obtenidas con probetas de concreto amasadas con el agua dudosa y con un agua tipo de referencia.

Una agua que contenga cloruros y sales magnésicas, bien porque sea una agua marina o bien porque haya disuelto las sales sedimentadas sobre unos áridos que no han sido lavados, puede parecer una agua apta en un ensayo de compresión y, sin embargo, producir al cabo del tiempo las pérdidas de resistencia. A estos efectos nos conviene tener presente que la incorporación a la mezcla de ciertos aditivos como el cloruro de calcio, como pueden afectar la salinidad del agua de amasado.

Es, en este orden de ideas, como deben interpretarse las limitaciones establecidas en los distintos reglamentos en relación con el contenido máximo de sales disueltas en el agua de amasado. Como norma general, se considera rechazable el agua que, después de estar mezclada con los áridos, incumplan alguno de los siguientes requisitos:

- El contenido de residuo salino seco, obtenido por evaporización del agua, será inferior a 15 g/lit.
- El contenido de sulfatos, expresados en SO_4 , será inferior a 1 g/lit.
- El contenido en ion cloro, será inferior a 5 g/lit si la estructura es de hormigón armado, rebajándose este límite a 0,25 g/lit cuando se trate de elementos de concreto pretensado.

1.6 ADITIVOS

Los aditivos son sustancias químicas naturales o manufacturadas que se adicionan al concreto antes o durante el mezclado del mismo. Los aditivos más frecuentemente utilizados son los agentes incorporadores de aire, los reductores de agua, los retardantes y los acelerantes.

Se denomina aditivos a aquellos productos que se incorporan en el momento del amasado del hormigón o inmediatamente después, en una cantidad no superior al 5% en masa. Con relación al contenido de cemento, con objeto de modificar las propiedades y características de la mezcla en estado fresco y/o endurecido.

Los aditivos pueden utilizarse en estado sólido o líquido, aunque normalmente se emplean en estado líquido porque pueden dispersarse más rápido y uniformemente durante el amasado del concreto. Atendiendo a su función los aditivos pueden clasificarse en aireantes, modificadores del tiempo de fraguado, reductor de la retracción, reductor de agua y superplastificantes, siendo estos últimos los más utilizados en la actualidad.

Los aditivos superplastificantes o reductores de agua de alto rango son productos de naturaleza orgánica formados por surfactantes hidrofílicos que una vez disueltos en agua, dispersan las partículas de cemento y mejoran la cohesión y reología del mortero u hormigón sin introducir aire en su masa y que reducen la relación agua/cemento hasta en un 40% para la misma trabajabilidad, lo que supone una mejora respecto a los reductores de agua cuya máxima capacidad de reducción se sitúa en torno al 15%. Desde el punto de vista químico, los superplastificantes son polielectrolitos orgánicos que pertenecen a la categoría de dispersantes poliméricos de alto peso molecular. Estos polímeros son solubles en agua debido a la presencia de grupos aniónicos como grupos hidroxilos (OH), fosfónicos (R-PO₃), sulfónicos (R-SO₃) y carboxílicos (R-COO) unidos a la cadena principal hidrocarbonada.

Los superplastificantes utilizados, hacia los años 40, fueron los lignosulfonatos modificados, resultantes de la degradación de la lignina de la celulosa del papel. La capacidad reductora de agua de estos aditivos es mayor cuanto mayor es su peso molecular, pero pueden presentar efectos secundarios tales como inclusión de aire o efecto retardador del fraguado debido a la presencia de impurezas basadas en carbohidratos en su formulación.

A partir de los años 60 se desarrollaron los aditivos derivados de melanina (SMF) y naftaleno (SNF), que se sintetizan a partir de la sulfonación de melanina y naftaleno respectivamente y posterior polimerización.

Estos aditivos superplastificantes convencionales (lignosulfonatos y derivados de melanina y naftaleno) se absorben sobre los granos de cemento a través de sus grupos aniónicos. Además una parte de estos grupos con carga negativa quedan en contacto con la disolución confiriendo a los granos de cemento una carga negativa neta responsable de una repulsión de tipo electrostático entre ellos. Esta repulsión provoca la dispersión entre los granos de cemento, liberando en agua contenida en los flóculos.

A finales de los años 90 se desarrolló una nueva generación de aditivos superplastificantes basados en polímeros sintéticos, con formulaciones basadas en policarboxilatos (PCs), cuya síntesis proviene generalmente de la polimerización de derivados del ácido acrílico ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$) o el metacrílico ($\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{COOH}$).

Estos aditivos basados en policarboxilatos tienen una estructura tipo peine con una cadena hidrocarbonada principal con grupos carboxilatos y cadenas laterales con grupos éteres. En los últimos años se han sintetizado una nueva familia de estos aditivos con cadenas principales más cortas y cadenas laterales de poliéteres más largas (PE).

La adsorción de estos aditivos PCs y PEs sobre los granos de cemento se produce a través de los grupos carboxilatos. La dispersión que estos aditivos inducen entre las partículas de cemento, se debe a una repulsión electrostática (al igual que en los aditivos basados en melanina y naftaleno) y fundamentalmente a una repulsión de tipo estérica asociada a las largas cadenas laterales de los grupos éteres.

Las diferentes estructuras moleculares de estos aditivos (relación entre el número de grupos carboxilato/grupos poliéteres) y su peso molecular y polidispersidad

afectan fundamentalmente a la fluidez, a la resistencia a la segregación, a los tiempos de fraguado, a la hidratación y al comportamiento reológico de las pastas, morteros y hormigones. Sin embargo, hasta la fecha, se desconoce realmente como afectan esas características estructurales de los aditivos PCs o PEs al comportamiento de los sistemas cementantes.

Como ya se ha indicado, la elevada fluidez que confieren estos aditivos a los sistemas cementantes, así como la duración de dicha fluidez están ligadas a factores estructurales de los aditivos. En opinión de algunos autores, cuando más corta sea la cadena principal y más largas y numerosas las cadenas laterales de éteres, mayor y más duradera será la fluidez inducida, aunque estudios más recientes no coinciden plenamente con estas afirmaciones. El peso molecular de estos aditivos también tiene una influencia con estas afirmaciones. El peso molecular de estos aditivos también tiene una influencia destacada en su comportamiento, de modo que los polímeros de mayor peso molecular se adsorben en mayor proporción e inducen una mayor fluidez en el sistema. Sin embargo, son tantas las posibles formulaciones y estructuras moleculares que pueden adoptar estos nuevos aditivos que no se ha establecido aún cual es la relación existente entre el número de grupos carboxilatos/grupos poliéteres de los mismos y las propiedades reológicas y dispersivas que inducen en las pastas y hormigones.

La utilización de cualquier tipo de aditivo superplastificante en las pastas de cemento, no solo producen cambios en la fluidez de las mismas, sino que provocan un retraso en los procesos de hidratación. Son muchos los factores que influyen en este retraso: finura y composición del cemento, naturaleza y peso molecular del aditivo. A este respecto, numerosos estudios se han llevado a cabo para determinar el efecto de los aditivos superplastificantes convencionales (LS, SNF y SMF) sobre la hidratación del cemento portland. Según ciertos autores, el retraso de la hidratación es consecuencia de la formación de un complejo de tipo quelato con los iones Ca^{2+} , disminuyendo su concentración en la fase acuosa, retrasando la precipitación de productos de reacción y por lo tanto, el inicio de

fraguado. Otros autores consideran que el retraso de la hidratación del cemento se debe a la adsorción del aditivo sobre los granos de cemento y posterior formación de una capa protectora que impide el contacto entre el agua y el cemento, dificultando la difusión de los iones Ca^{2+} hacia la fase acuosa.

1.6.1 Tipos de aditivos

Existe gran variedad de aditivos químicos sin embargo los acelerantes, plastificantes y superplastificantes son los productos que más comúnmente han sido utilizados en el concreto para ayudarnos a desarrollar altas resistencias iniciales. Según la norma ASTM C-494, los aditivos plastificantes y superplastificantes han sido clasificados y combinados con la acción de aditivos reductores y aceleradores de fraguado, detalle que se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 4: Tipos de aditivos químicos

Tipos de aditivos químicos	
Tipo	Características
A	Actúan como reductores de agua
B	Actúan como retardadores del tiempo de fraguado
C	Actúan como acelerantes
D	Actúan como reductores de agua y retardadores de fragua
E	Actúan como reductores de agua y acelerantes
F	Actúan como reductores de agua de alto rango
G	Actúan como reductores de agua de alto rango y retardadores

Fuente: ASTM C494/C494M-08a Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto

A diferencia de los plastificantes (tipos A, D y E), los superplastificantes (tipos F y G) pueden reducir el contenido de agua de una mezcla hasta un orden del 40%.

De acuerdo con el departamento técnico de Sika, la elección del aditivo para una realización ideal estará influenciada por las propiedades físicas y químicas de las adiciones. Éstas pueden tener efectos en factores como la finura, el contenido en carbono, los álcalis y el C_3A . Se recomienda pues comprobar minuciosamente su

compatibilidad si se quiere hacer algún cambio en estos constituyentes.

Además nos aclaran que los aditivos son normalmente regulares entre distintos lotes de entrega, pero si se cambia de proveedor o de tipo de aditivo del mismo fabricante esto tendrá un efecto significativo en la confección del concreto, por lo que deberá comprobarse minuciosamente antes de cualquier cambio.

- **Aditivos Plastificantes:** Son los más utilizados en nuestro medio, y permiten que la trabajabilidad del hormigón fresco mejore considerablemente, por lo que se los suele utilizar en hormigones que van a ser bombeados y en hormigones que van a ser empleados en zonas de alta concentración de armadura de hierro.

Estos mismos aditivos pueden conseguir; manteniendo la trabajabilidad de un hormigón normal, que se reduzca la cantidad de agua de amasado mejorando con ello la resistencia del hormigón. El efecto básico que logran los aditivos plastificantes es el de disminuir la tensión superficial del agua de amasado con lo que disminuyen la energía requerida para trabajar con el hormigón fresco.

- **Aditivos Superplastificantes:** se los conoce en el mercado como reductores de agua de alto rango, pueden convertir a un hormigón normal en un hormigón fluido, que no requiere de vibración para llenar los espacios de las formaletas, inclusive en sitios de difícil acceso para el hormigón. Así mismo, si se mantiene una trabajabilidad normal, estos aditivos permiten la reducción de la relación agua/cemento hasta valores cercanos a 0,30, consiguiéndose hormigones de media resistencia (entre 35 MPa y 42 MPa) y hormigones de alta resistencia (mayores a 42 MPa)

Según la norma ASTM C494-71, los aditivos que solamente son reductores de agua, pertenecen al grupo A, pero si las propiedades de reducción de agua se añan a las de retardación del fraguado, el aditivo se clasifica como tipo D. Existen también aditivos reductores de agua y acelerantes (tipo E), pero revisten poco interés. Los dos principales grupos de aditivos del tipo D son:

- ácidos lignosulfónicos y sus sales (conocidos como clase 1 en la nomenclatura del ASTM2-27)
- ácidos hidroxilados carboxílicos y sus sales; (conocidas como clase 3).

Sus derivados y modificaciones, conocidos como clase 2 y clase 4 respectivamente, no actúan como retardantes y se pueden comportar como acelerantes; son, por consiguiente, del tipo A o E.

- **Aditivos Acelerantes:** Permiten que el endurecimiento y fraguado de los hormigones se produzcan más rápidamente en la fase inicial. Es usual emplearlos cuando se desea desencofrar en menor tiempo de formaletas. Un efecto similar puede obtenerse utilizando cementos de fraguado rápido o mediante un proceso de curado con vapor de agua circulante (el curado con vapor se suele utilizar con frecuencia en hormigones prefabricados)

- **Aditivos de Fraguado Extra Rápido:** Se emplean en casos en que se requiera un endurecimiento y fraguado del hormigón en pocos minutos, como en la fundación de elementos dentro de cauces de ríos, en el mar o en túneles con filtraciones de agua.

- **Aditivos Retardantes:** Retrasan el endurecimiento inicial del hormigón, manteniendo por más tiempo su consistencia plástica. Se los suele utilizar en climas cálidos para evitar el fraguado anticipado por evaporación del agua de amasado, y en obras masivas de hormigón en que se requiere controlar la cantidad de calor emitida por el proceso de fraguado.

La aceleración o la desaceleración del proceso de fraguado mediante aditivos o mediante cementos apropiados, a más de afectar la velocidad de obtención de resistencia del hormigón a corto plazo.

La aceleración inicial del proceso conduce a resistencias menores a largo plazo, pues el agua de curado tiene menor nivel de penetración por el endurecimiento del hormigón. La desaceleración inicial del proceso determina resistencias mayores a

largo plazo, pues el curado se vuelve más eficiente.

- **Aditivos Introdutores de Aire:** Producen burbujas de aire dentro del hormigón, los que se utilizan en estructuras que están sometidas a procesos de congelamiento y descongelamiento periódico, poco frecuentes en nuestro medio (se los suele utilizar en refugios para ascencionismo). Cuando las moléculas de agua que no llegaron a reaccionar con el cemento se congelan, se transforman en hielo de mayor volumen y tratan de rajar internamente al hormigón; esas rajaduras se extienden hasta encontrar una burbuja de aire, donde disipan su presión y se detiene el proceso de fisuración; cuando no existen suficientes burbujas de aire, las fisuras se extienden hasta la superficie exterior del hormigón provocando un deterioro extenso. Los introductores de aire tienen como efecto colateral la disminución de la resistencia del hormigón aproximadamente en un 5% por cada 1% de burbujas de aire introducidas.

Existen sustancias especiales, como la ceniza volcánica pulverizada o la cascara de arroz quemado y pulverizado, que por su composición química apropiada y por su granulometría aún más pequeña que la del cemento, mejoran la resistencia del hormigón a largo plazo.

- **Aditivos Impermeabilizantes:** Favorecen el sellado de las propiedades del hormigón, lo que es particularmente útil en estructuras que van a contener líquidos como cisternas, tanques o inclusive presas.

- **Aditivos Espumantes:** Disminuyen la densidad de los hormigones, convirtiéndolo en un material sumamente liviano similar a la piedra pómez.

Hay aditivos que permiten mejorar la resistencia ante compuestos inorgánicos y orgánicos agresivos específicos como cloruros, sulfatos o lactosa, lo que protege tanto al hormigón como a las varillas de hierro en el caso del hormigón armado.

El uso de aditivos requiere de mezclas de prueba en laboratorio o en obra, antes de ser utilizados en las estructuras, porque ocasionalmente pueden provocar reacciones indeseables con ciertos tipos de cemento y con otros aditivos, debido a

que los aditivos son compuestos químicos.

1.7 ADICIONES

Las mezclas de concreto de alta resistencia tienen un alto contenido de materiales cementantes que incrementan el calor de hidratación y posiblemente produzcan una mayor contracción por secado, creando un mayor potencial de agrietamiento. La mayoría de las mezclas contienen una o más adiciones como cenizas volantes, cenizas de alto horno molidas, microsílíce, metacaolín y materiales puzolánicos de origen natural.

Microsílíce: son un polvo muy fino, obtenido por decantación del humo de chimeneas de altos hornos de aleaciones metálicas de la industria del ferrosilicón, el cual está compuesto del 90% al 95% de dióxido de sílice amorfo y que tiene propiedades puzolánicas que le permiten reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio para formar un gel con notable incremento en las propiedades positivas del concreto, especialmente su resistencia en compresión y su durabilidad.

Producción: es un subproducto de la reducción de cuarzo de alta pureza con carbón mineral, el cual es calentado a 2000 grados centígrados en un horno de arco eléctrico durante la fabricación de aleaciones de ferrosilicio y silicio metálico, siendo la aleación recogida en el fondo del horno.

El cuarzo es calentado conjuntamente con carbón o madera, empleados para remover el oxígeno. Conforme el cuarzo se reduce a aleación, deja escapar vapores de óxido de silicio. En la parte superior del horno estos humos se oxidan en contacto con el oxígeno de la atmósfera y se condensan en micro-esferas de sílice amorfa.

Características de las Microsílíce: la microsílíce es producida como un polvo ultra fino de color gris, el cual tiene las siguientes propiedades típicas:

- a) Un contenido de por lo menos 90% de Si O₂
- b) Partículas con tamaño promedio de 0,1-0,2 micrómetros
- c) Superficie específica mayor de 15000 m²/kg
- d) Perfil esférico de las partículas
- e) Mínimo contenido de carbón

Empleo de Microsílices en el concreto: estas fueron inicialmente consideradas como un material de remplazo del cemento y en algunas áreas ese es todavía su único uso.

En general, parte del cemento puede ser remplazada por una cantidad menor de microsíllice. La adición de esta generalmente incrementa la demanda de agua. Si se desea mantener la misma relación agua/cemento, deberá usarse un aditivo reductor de agua. Debido a su limitada disponibilidad y su alto precio, referido al cemento portland u otras puzolanas o escorias, las microsílices han sido empleadas en forma creciente como un material para mejorar las propiedades del concreto, es decir, para proporcionar concretos con muy altas resistencias en compresión o con muy alto nivel de durabilidad.

1.8 MATERIALES CONTITUYENTES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

La producción efectiva de concreto de alta resistencia se logra seleccionando, controlando, y proporcionando cuidadosamente todos los materiales. A fin de lograr concretos de alta resistencia, se debe seleccionar las proporciones óptimas, considerando las características del cemento, microsíllice, la calidad del agregado, la proporción de la pasta, la interacción agregado-pasta, el tipo de aditivo y la forma de dosificación, y el mezclado.

Al evaluar el cemento, microsíllice, el aditivo químico y el agregado, procedente de varias fuentes potenciales en proporciones variables, se podrá indicar la combinación óptima de los materiales.

Cemento: La elección del cemento portland a ser empleado en la preparación de

concretos de alta resistencia a los cuales se ha incorporado microsílíce es muy importante las diferentes marcas y tipos, tendrán distintas características de desarrollo de resistencia debido a variaciones en su composición y en su finura, dentro de los límites que permite la Norma ASTM 150. Es recomendable seleccionar un cemento que permita alcanzar una alta resistencia a los tres meses.

Existen numerosos estudios los cuales han determinado la influencia de los diferentes tipos de cemento, así como de sus características físicas y químicas, en la efectividad de los superplastificantes y las microsílíce.

Para un tipo de cemento determinado de los comúnmente empleados, las diferentes marcas tienen diversas características de desarrollo de la resistencia debido a las variaciones en las características y porcentajes de sus compuestos y a la finesa que es permitido por la norma ASTM 150.

Si bien los ensayos de cubos de mortero pueden dar una aceptable indicación de la resistencia potencial, es recomendable hacer ensayos con mezclas de concretos, estas deberán contener los materiales que van a ser empleados en obra, preparados con la consistencia propuesta y determinar su resistencia a 7, 28, 45 y 90 días de edad.

Existe evidencia que los aditivos utilizados, especialmente los superplastificantes, son más efectivos en la reducción de agua y en el desarrollo de resistencia al combinarlos con cementos con bajo contenido de aluminato tricálcico (C_3A) y alta finesa. Se ha encontrado que concretos hechos con cementos con contenido de C_3A superiores a 9%, presentan pérdidas de asentamiento rápidas. Un límite aceptable en el C_3A parece ser 5%.

Hay evidencia que concretos preparados con cemento con contenidos moderados a altos de aluminato tricálcico (mayor del 9%) muestran pérdida rápida de asentamientos. Lo contrario parece ser cierto para concretos preparados con cementos con un bajo contenido de C_3A , menor del 5%.

Las investigaciones indican que el efecto superplastificante solo dura de 30 a 40 minutos después de su inclusión en la mezcla, y que no es recomendable emplear adiciones repetidas del superplastificante para recuperar la trabajabilidad.

Un estudio efectuado indican que debe considerarse seriamente la posibilidad de emplear cementos portland puzolánicos (ASTM Tipo IP) para mezclas de concreto de alta resistencia por su adecuado efecto físico químico asociado con las partículas finas de una puzolana. Es dentro de este campo que se considera a las microsílice.

Debe obtenerse certificados de calidad y uniformidad del cemento en los silos de los últimos 6 meses. Así no solamente se tendrá una indicación de las características de resistencia, determinadas de acuerdo a los resultados de los cubos de mortero hechos de acuerdo a la norma ASTM C 109 sino, igualmente se tendrá una indicación de la uniformidad del cemento.

El abastecedor de cemento deberá ser exigido para reportar uniformidad de acuerdo a la Norma ASTM C 917. Si el contenido del silicato tricálcico varía en más del 4%, la pérdida por calcinación en más del 5%, o la fineza en más de 375 cm^2/g (Blaine), pueden presentarse problemas en mantener uniforme la alta resistencia.

Se debe optimizar el sistema cemento-aditivo-adición dado que el efecto de los superplastificantes sobre los requerimientos de agua deberá depender de las características del cemento y el contenido de éste. Los superplastificantes se comportan mejor cuando menor es el contenido de aluminato tricálcico en el cemento.

Siempre debe recordarse que en el desarrollo de resistencia deberá depender tanto de las características del cemento como de su contenido en la unidad cubica de mezcla.

Agregados: En los concretos de alta resistencia los agregados deberán cumplir, como mínimo, con los requisitos de la Norma ASTM C33. Es recomendable que, en una obra, todas las mezclas empleen los mismos agregados. El contenido de agregado grueso optimizado permanece constante para todas las mezclas y el contenido del agregado fino varía únicamente en función del control de rendimiento.

- **Agregado Fino**

La granulometría óptima del agregado fino para concretos de alta resistencia está determinada más por su efecto en el requerimiento de agua que por sus características físicas.

Un agregado fino con un perfil redondeado y una textura suavizada requiere menos agua de mezclado en el concreto y por esta razón es más recomendable cuando se requiere concreto de alta resistencia. En este punto es conveniente indicar que muchos investigadores recomiendan arena de origen andesítico. La óptima granulometría de agregado fino para concretos de alta resistencia está determinada más por sus efectos sobre los requerimientos de agua que sobre su capacidad de acomodo.

Las arenas con un módulo de fineza por debajo de 2,5 dan concretos de consistencia espesa que los hace difíciles de compactar. Las arenas con módulo de fineza iguales o mayores a 3.0 dan las mejores trabajabilidad y resistencia en compresión. Se recomienda emplear una arena con módulo de fineza cercano a 3.0, dado que puede contribuir a producir concretos de adecuada trabajabilidad y resistencia a la compresión.

En los concretos de alta resistencia en los cuales se utiliza microsílíce las cantidades de material que pasa las mallas N°50 y N°100 deben ser mantenidas bajas, pero dentro de los límites indicados en la norma ASTM C 33, debiendo evitarse la presencia de mica y arcilla.

La granulometría del agregado fino no tiene efecto sobre las resistencias iniciales. En las edades finales con más altos niveles de resistencia, las mezclas con granulometría discontinua presentan menos resistencias que las mezclas estándar.

Un incremento en el material que pasa la malla N°200 reduce la resistencia en compresión. Si ello ocurre, un incremento en el contenido de microsílíce o una disminución en la relación agua-material cementante deberán garantizar que se mantiene el nivel de resistencia en compresión requerido.

Los concretos de alta resistencia usualmente tienen tan altos contenidos de materiales cementantes que la granulometría de los agregados finos a usar tiene relativamente poca importancia, en comparación con su importancia en los concretos convencionales.

Sin embargo, en algunas ocasiones puede ser conveniente aumentar el módulo de fineza. Las cantidades que pasan por la malla N°50 y N°100 deberán mantenerse bajas, pero dentro de los requerimientos de las normas ASTM C 33 y deberán evitarse contaminación de micas y arcillas. Desde el punto de vista del concreto se requiere limitar finos en la arena a un máximo del 10%.

- **Agregado Grueso**

Se recomienda que el agregado grueso proceda de rocas ígneas plutónicas de grano fino, que han enfriado en profundidad, con una dureza no menor de 7 y una resistencia en compresión no menor del doble de la resistencia que se desea alcanzar en un concreto. La capacidad de absorción deberá ser menor de 10%. Muchos investigadores recomiendan agregado grueso proveniente de roca ígnea caliza triturada.

Se han efectuado muchos estudios tratando de determinar cuál es el tamaño máximo del agregado grueso que puede ser el más conveniente para lograr la óptima resistencia en compresión con altos contenidos de material cementante y

bajas relaciones agua-cementante.

Para obtener una óptima resistencia en compresión, con un adecuado contenido de materia cementante, que incluye microsílices, y una baja relación agua cemento se ha determinado que el tamaño máximo del agregado deberá ser mantenido, en el orden de ½” a 3/8”.

Se han realizado estudios en los cuales han encontrado que hay un incremento en la resistencia en compresión en concretos a los que se ha incorporado microsílices gracias a una reducción en los esfuerzos de adherencia promedio debidos al incremento en el área superficial de los agregados individuales.

Adicionalmente ha encontrado que la adherencia de partículas de agregados de 3” es solamente cerca de 1/10 de la de los agregados de ½”. Igualmente excepto para agregados de muy buena o muy mala calidad, la resistencia por adherencia fue el 50% al 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

También debe considerarse que los agregados de tamaño menor contribuyen a producir concretos de más alta resistencia debido a una menor concentración, alrededor de las partículas, de esfuerzos originados por una diferencia entre los módulos de elasticidad de la pasta y el agregado.

Debido a la mayor adherencia mecánica de las partículas del perfil angular, la piedra partida produce resistencias mayores que la grava redondeada. La angularidad acentuada deberá ser evitada por requerir altos contenidos de agua y presentar reducciones en la trabajabilidad.

Se considera que el agregado ideal debe ser 100% agregado triturado de perfil angular y textura rugosa, limpio, duro, resistente, poco absorbente, de preferencia sin y en el peor de los casos con un mínimo de partículas chatas o elongadas. Parece obvio que el concreto de alta resistencia requiera agregados de alta resistencia y, en alguna forma esto es cierto. Sin embargo, diversas

investigaciones han mostrado que, para algunos agregados, se alcanza un punto más allá del cual incrementos adicionales en el contenido de cemento no producen incrementos en la resistencia a compresión del concreto. Esto aparente se debería a que se ha alcanzado el límite de adherencia potencial de la combinación agregado-cemento.

Agua: El agua es de extrema importancia en la producción de concretos de alta resistencia. Para producir una pasta con un contenido de sólidos tan alto como sea posible, el concreto deberá tener el mínimo contenido de agua. Después que el concreto ha sido colocado y la estructura de la pasta se ha establecido, el agua deberá estar libremente disponible, especialmente durante las primeras etapas del proceso de hidratación.

Durante este período, una gran cantidad del agua se combina con el material cementante. De esta forma el agua pierde aproximadamente $\frac{1}{4}$ de su volumen después que las reacciones químicas se han completado. Ello crea pequeños vacíos, los poros capilares, con posibilidades de llenarse de agua y hacer permeable al concreto.

Cualquier agua extra presente en el concreto deberá incrementar la hidratación del hidróxido de calcio y, por lo tanto, el porcentaje de sólidos por unidad de volumen de pasta, incrementando la resistencia del concreto. Si el agregado es capaz de absorber un pequeño volumen de agua, ella puede actuar como pequeños reservorios para el curado distribuidos a través del concreto, permitiendo contar con agua de curado adicional que es beneficiosa para las pastas con una relación agua-cemento baja.

Con microsílíce los requisitos de agua de calidad no son más exigentes que aquellos exigidos para el agua a ser empleada para los concretos convencionales. No se empleará agua de mar ni aguas contaminadas con materia orgánica o sales. Generalmente el agua para concretos de alta resistencia es especificada ser agua de calidad potable. Ello es evidente

conservador, pero generalmente no constituye un problema desde que la mayoría de los concretos de alta resistencia es producida cerca de una fuente de abastecimiento de agua potable.

Sin embargo, puede encontrarse casos en los que aguas contaminadas es la única disponible. En estos casos deberá efectuarse ensayos de concreto preparado con esta agua y los resultados deben ser comparados con el concreto preparado con agua destilada o puede ser más conveniente preparar cubos de mortero de acuerdo a las indicaciones de la Norma ASTM C 109. En estos casos los especímenes deberán ser ensayados en compresión a los 7 y 28 días.

En aquellos casos en los que, con el agua en cuestión la resistencia de los cubos de mortero es por lo menos igual al 90% de los especímenes preparados con los del agua destilada, el agua puede ser considerada aceptable, de acuerdo a la norma ASTM C 94. Los métodos de ensayo del agua para condiciones especiales son dados en AASHTO T 26.

Adiciones: Las adiciones minerales finamente divididas consisten principalmente de cenizas, cemento de escorias y microsílices, todos los cuales han sido ampliamente empleados en concretos de alta resistencia.

Las microsílices y los aditivos que las contienen han sido empleadas para concretos de alta resistencia con propósitos estructurales y para aplicaciones superficiales, así como material de reparación en situaciones en las que la resistencia a la abrasión y la baja permeabilidad son ventajosas.

Las microsílices son un subproducto resultante de la reducción de cuarzo de alta pureza con carbón en un horno de arco eléctrico durante la producción de aleaciones de silicón y ferrosilicón. Los humos, los cuales tienen un alto contenido de dióxido de sílice amorfo y consisten de partículas esféricas muy finas, son colectados de los gases que salen del horno. Las microsílices consisten de partículas vítreas muy finas, con un área superficial en el orden de

200mil cm²/g, cuando son medidas por técnicas de absorción de nitrógeno.

La distribución de partículas por tamaños de una microsílíce típica muestran que la mayoría de las partículas son menores de un micrómetro, con un diámetro de 0,1 µm, el cual es aproximadamente 100 veces más pequeño que el promedio de las partículas de cemento.

La gravedad específica de las microsílíces es típicamente 2,2, pero puede ser tan alta como 2,5. La densidad de volumen al ser recogida está en el orden de 160 a 320 kg/m³; sin embargo, para sus aplicaciones puede conseguirse densificada o en lechada, ambas para aplicaciones comerciales.

Las microsílíces, debido a su extrema finesa y alto contenido de sílice, son un material puzolánico altamente efectivo que reacciona durante la hidratación del cemento con la cal, para formar un compuesto cementoso estable, el silicato de calcio hidratado (CSH).

La disponibilidad de los superplastificantes ha facilitado el empleo de las microsílíces como parte del material cementante en el concreto para producir concretos de alta resistencia. Usualmente el contenido de microsílíces varía del 5% al 15% del contenido del cemento portland.

Se sabe que ajustar en el contenido de microsílíce son un procedimiento adecuado para controlar la resistencia a la compresión del concreto. Por ello conforme la resistencia de diseño se incrementa igualmente debe de incrementarse el contenido de microsílíce de la mezcla.

El empleo de microsílíces para producir concretos de alta resistencia se incrementó significativamente en la década de 1980. Tanto la experiencia de laboratorio como la de obra indican que los concretos a los cuales se han incorporado microsílíce tienen un incremento en la tendencia a desarrollar grietas por contracción plástica.

Ello obliga a cubrir rápidamente la superficie de estos concretos frescos para prevenir una rápida evaporación del agua.

Aditivos: Los aditivos empleados en concretos de alta resistencia en los cuales se está utilizando microsílices incluyen agentes incorporadores de aire y aditivos químicos. Estos son superplastificantes y acelerantes. La selección del tipo, marca, y dosaje de los aditivos deberá basarse en su comportamiento previo, mediante ensayos de laboratorio empleando los materiales a ser utilizados.

- **Superplastificantes**

Las especificaciones recomiendan emplear un aditivo superplastificante que permita reducir la demanda de agua, manteniendo niveles aceptables de trabajabilidad en la mezcla. Los reductores de agua de alto rango, también conocidos como superplastificantes de los tipos ASTM C 494 tipos F y G, proporcionan una alta resistencia, especialmente en las primeras 24 horas. Mezclando el aditivo al cemento, es importante tanto el tipo como el dosaje.

La pérdida de asentamiento característica de estos aditivos deberá determinar si ellos son añadidos en la planta, en obra, o en una combinación de ambos. Las nuevas generaciones de superplastificantes no solo pueden reducir el contenido de agua hasta un 40% si no que además pueden transformar el concreto de alta resistencia en un concreto muy manejable de alto asentamiento; concreto con a/c tan bajo como 0,24 de asentamientos hasta 11”.

Las partículas de cemento portland tienen una marcada tendencia a flocular cuando se mezclan con agua, esto se debe a varios tipos de interacciones, el proceso de floculación conlleva a la formación de una red abierta de partículas. Las redes de los huecos pueden atrapar parte de agua, la cual entonces no está disponible para la hidratación superficial de las partículas de cemento y para la fluidificación de la mezcla.

Para lograr una distribución homogénea de agua y un contacto óptimo del agua-cemento, las partículas del cemento deben estar apropiadamente floculadas y mantenerse en un estado de alta dispersión.

1.9 SELECCIÓN DE LAS PROPORCIONES

Las proporciones de las mezclas a ser empleadas en los concretos de alta resistencia son variadas, dependiendo de muchos factores. Los requisitos de resistencia, la edad de los ensayos, las características del material, y el tipo de aplicaciones en que va a ser empleado el concreto, tienen influencia en la selección de las proporciones de la mezcla.

Adicionalmente, razones económicas, requisitos estructurales, prácticas de fabricación, ambiente de curado, y aun la estación del año, son factores que pueden afectar la selección de las proporciones de las mezclas de alta resistencia.

El proporcionamiento de mezclas de concreto de alta resistencia es un proceso más crítico, y por ello debe ser más cuidadoso, que el diseño de mezclas de concreto de resistencia normal. Generalmente se emplea material puzolánico, en este caso microsílices, y aditivos plastificantes especialmente seleccionados. En los concretos de alta resistencia la obtención de una relación agua-material cementante baja se considera esencial.

Debe recordarse, al seleccionar las proporciones que los consumos de cemento varían entre 425 y 510 kg/m³ y las relaciones agua-cemento, en peso, entre 0,25 y 0,35. Se considera, en teoría, que una relación agua-cemento de 0,28 es adecuada para la hidratación total del cemento.

Igualmente conviene recordar que es conveniente aplicar los procedimientos que propicien la reducción de la relación agua-cemento a valores cercanos al mínimo teórico. Los superplastificantes satisfacen este requerimiento dado que su empleo permite reducciones de agua del orden del 20 al 30% mediante un

uso adecuado de los mismos. Su empleo permite lograr asentamientos de 6 plg en mezclas de gran soltura sin segregación del agregado grueso.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que los bajos contenidos de agregado fino con alto consumo de agregado grueso, dan como resultado positivo una reducción de los requerimientos de pasta y normalmente conducen a mezclas más económicas. Las recomendaciones indican que la relación agregado fino/agregado total, en peso, debería variar entre 30 y 45%, de acuerdo con las características de los agregados. Igualmente se estima que, para los efectos del diseño es conveniente considerar un contenido de aire atrapado máximo del 2%.

Conforme se incrementa el valor de la resistencia que se desea obtener, las propiedades del agregado asumen importancia creciente. La resistencia propia, la textura adecuada para alta resistencia y la forma y granulometría para producir la trabajabilidad adecuada con un contenido mínimo de agua, son de gran importancia. Debe recordarse que la resistencia de los agregados limita la del concreto y que, por ello, las mezclas con un contenido elevado de cemento y baja relación agua/cementante no necesariamente producen concretos de alta resistencia.

Por ello algunos investigadores afirman que el proceso de diseño de mezclas de concretos de alta, debe enfocarse principalmente a la búsqueda del agregado apropiado y a una adecuada relación fino-grueso.

Por ello, autores como Walker y Bloem, insisten que para lograr altas resistencias debe seleccionarse los tamaños menores, lo que permite aumentar la superficie específica y la adherencia entre el mortero y el agregado, con lo cual se incrementa en forma sustancial la resistencia del concreto.

Los investigadores mexicanos consideran necesario tener en consideración tres relaciones básicas.

- a) Las mezclas diseñadas deberán reunir características adecuadas de trabajabilidad, consistencia y resistencia.
- b) El concreto debe ser compactado totalmente, el método depende de la consistencia de la mezcla.
- c) Un incremento en la cohesión aumenta la resistencia del concreto, siendo esta la forma más directa para conseguir concretos de alta resistencia.

Son recomendables muchas pruebas de ensayo para generar los datos que permitan al diseñador identificar las proporciones óptimas de la mezcla.

1.9.1 Resistencia requerida

El ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318) describe los requisitos de Resistencia del concreto. Normalmente el concreto ha sido proporcionado de manera tal que la resistencia promedio de los ensayos de resistencia en compresión exceda a la resistencia especificada f'_c en una cantidad que es lo suficientemente alta como para minimizar la frecuencia relativa de resultados de ensayos por debajo del valor de la resistencia especificada.

Un valor promedio puede ser calculado por un conjunto de datos medidos, de los cuales los retenidos a obras anteriores juegan un papel importante. La cantidad en que los valores individuales se desvían del promedio es generalmente certificada por el cálculo de la desviación estándar, la cual puede ser una ayuda valiosa para predecir la variabilidad de futuros ensayos.

Muchos factores pueden influir en la variabilidad de los resultados de los ensayos, incluyendo los materiales individuales, la planta de dosificación y elaboración, el contratista, la supervisión, y las condiciones ambientales.

Todos aquellos factores los cuales pueden afectar la variabilidad de la resistencia y las medidas de la misma deberán ser considerados cuando se selecciona las proporciones de la mezcla y cuando se establece la desviación estándar aceptable a partir de los resultados de los ensayos de resistencia.

En los concretos de alta resistencia, los materiales y las proporciones empleados para calificar la mezcla deberán ser más cuidadosamente controlados que aquellos que se utilizan en concretos de resistencias menores. Los factores que contribuyen a la variabilidad de la medida de la resistencia en compresión de concretos en rangos de resistencia menores deben ser cuidadosamente identificados y eliminados.

Han identificado las causas de la variabilidad de la resistencia en concretos de alta resistencia. Se reconoce que los concretos de alta resistencia son más difíciles de ensayar en forma segura que los concretos de resistencia normal. La dificultad en los ensayos puede contribuir a hacer menores los valores medidos o a aumentar la variabilidad.

Una alta varianza en los resultados de los ensayos deberá determinar una resistencia promedio requerida más alta. Si la variabilidad se estima que debe ser relativamente baja, pero resulta ser alta, la frecuencia de los resultados de ensayos por debajo de la resistencia especificada puede ser inaceptablemente alta. Por lo tanto, cuando se selecciona una desviación estándar promedio el productor de concreto deberá suministrar el registro de ensayos más apropiado. Una resistencia promedio alta puede ser difícil o imposible de obtener cuando se produce concreto de alta resistencia debido a que las proporciones de la mezcla pueden ya estar optimizadas.

El ACI 318 reconoce que algunos resultados de ensayos pueden probablemente ser menores que la resistencia especificada. La técnica más común ha sido limitar la frecuencia de ensayos que pueden caer por debajo de la resistencia especificada.

El concreto se considera aceptable si se cumplen los siguientes requisitos:

- a) El promedio de los resultados de todos los juegos de tres ensayos de resistencia consecutivos deberá ser igual o exceder el valor de f'_c requerido.

- b) Ningún ensayo individual de resistencia (promedio de dos cilindros) deberá estar por debajo de $f'c$ en más de 35 kg/cm^2 .

Sin embargo, algunos diseñadores han especificado valores de resistencia más altos o más bajos que los indicados por el ACI 318, independientemente del valor recomendado por éste.

Los concretos de alta resistencia continúan ganando considerable resistencia sobre y bajo los requerimientos de diseño con el paso de tiempo, más que los concretos de baja resistencia. Aunque el porcentaje de ganancia de la resistencia en compresión de los concretos de alta resistencia de los 7 a los 90 días puede ser igual o más bajo que el porcentaje en el rango de bajas resistencia, el orden de magnitud de la ganancia de resistencia expresado en kg/cm^2 es mucho más alto.

El ACI 318 permite diseños de mezclas a ser proporcionados basándose en experiencia de obra, o dosificaciones de mezclas de prueba en el laboratorio. Cuando el productor de concreto decide seleccionar las proporciones de las mezclas de concreto de alta resistencia basándose en los resultados de mezclas de prueba preparadas en el laboratorio, deberá establecerse un procedimiento de confirmación de los resultados en base a los concretos colocados en obra.

ACI 214

Cuando se ha acumulado de la obra suficientes datos de ensayos, puede ser apropiada una reevaluación de las proporciones de la mezcla empleando las indicaciones de la Recomendación ACI 214 “Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Result of concrete”

Otros requisitos de resistencia

En algunos casos, otras consideraciones diferentes a la resistencia en compresión pueden influir en las proporciones de la mezcla. Una discusión detallada de las propiedades del material, incluyendo las resistencias en flexión y tensión.

1.9.2 Edad de ensayo

La selección de las proporciones de la mezcla puede ser influida por la edad del ensayo, la cual tiene variaciones dependiendo de los requerimientos de la construcción.

Muy a menudo la edad del ensayo ha sido fijada como aquella en se establecen los criterios de aceptación, por ejemplo 28 días. Sin embargo los ensayos pueden realizarse antes de la edad de aceptación de los mismos, o después de dicha edad, dependiendo de la clase de información requerida.

Edades Iniciales

Las operaciones de concreto premezclado pueden requerir altas resistencia en 12 a 24 horas. Aplicaciones para uso temprano de cimentaciones de máquinas, tráfico de pavimentos, o caso de concreto para encofrados deslizantes, pueden requerir alta resistencia a edades tempranas. El concreto postensionado es a menudo estresado a edades de aproximadamente tres días y requiere de alta resistencia relativa.

En general, los concretos que tienen altas resistencias finales deberán producir altas resistencias iniciales. Sin embargo, el óptimo material seleccionado, y por lo tanto las proporciones de la mezcla, pueden variar para diferentes edades de ensayo.

Así por ejemplo, el cemento Tipo III sin cenizas ha sido empleado para el diseño de altas resistencias iniciales, comparado con los cementos Tipo I o Tipo II y cenizas para resistencias de diseño iniciales. La resistencia en las edades iniciales puede ser más variable debido a la influencia de la temperatura de curado y a las características iniciales del cemento especificado.

Por todo lo indicado deberá evaluarse anticipadamente las proporciones de la mezcla cuando se requiere una resistencia promedio alta a una edad de ensayo posterior a las que se necesita para una edad de empleo temprana.

Edad de 28 días

Desde los inicios de los controles de calidad, una edad común para los ensayos de resistencia de la compresión del concreto ha sido de 28 días. El comportamiento de la estructura ha sido empíricamente correlacionado con el de cilindros de concreto curado en húmedo, generalmente de 6" x 12" (152 x 305 mm) preparado de acuerdo a lo indicado en las Normas ASTM C 31 y C 192.

Este procedimiento ha dado buenos resultados para concretos que están dentro del rango de bajas resistencias y no requieren tempranas resistencias o evaluación.

Es sabido que, debido a la acción del material puzolánico añadido, en el caso en estudio las microsílices, los concretos de alta resistencia la ganan en forma importante en edades posteriores a los 28 días y, por lo tanto, deben ser evaluados a edades mayores siempre que los requisitos de construcción permitan al concreto más tiempo para desarrollar resistencia antes de imponer la carga. Las proporciones de la mezcla, especialmente el material cementante, generalmente deben ser ajustadas dependiendo de la edad del ensayo.

Edades posteriores

Los concretos de alta resistencia son frecuentemente ensayados en edades avanzadas, tales como los 56 o 90 días. Los concretos de alta resistencia se han colocado frecuentemente en columnas de edificios de gran altura. Por lo tanto, es recomendable tomar ventaja de la ganancia de resistencia en el largo plazo, debida a la reacción de la microsíllice con el hidróxido de calcio formado a partir de la reacción química del cemento en presencia del agua, a fin de alcanzar un empleo eficiente de los materiales de construcción. Esto, a menudo, ha sido justificado en las construcciones altas en las que el total de la carga puede no ocurrir has edades posteriores.

En aquellos casos en que se ha especificado edades posteriores como criterio de aceptación, puede ser ventajoso para el fabricante de concreto desarrollar ensayos acelerados o en edades tempranas para predecir la resistencia en edades finales. La publicación ACI-SP 56 "Accelerated Strength Testing" proporciona información

sobre ensayos acelerados.

De hecho, se deberá desarrollar información con datos de correlaciones históricos relativos al material y proporciones a ser empleados en el trabajo. Estos ensayos pueden no siempre permitir el predecir la resistencia en edades posteriores; sin embargo, los resultados de estos ensayos deberán proporcionar una identificación temprana de la tendencia a resistencias bajas antes de efectuar una larga historia de incumplimiento. Los criterios de aceptación en el largo plazo pueden crear suspenso sobre el comportamiento del concreto en cuestión en un largo plazo.

Se ha empleado ensayos en cilindros para determinar la resistencia del concreto con edades anteriores a la edad de aceptación especificada. En casos en los que la resistencia a la compresión no sea alcanzada, el ensayo posterior a edades adecuadas algunas veces ha justificado la aceptación del concreto en cuestión.

Edad de ensayo en relación al curado

Cuando se selecciona proporciones de mezcla, el tipo de curado anticipado deberá considerarse en relación con la edad de ensayo, especialmente si el diseño es para concretos de alta resistencia inicial. El concreto gana resistencia como una función de su madurez, la cual generalmente es definida como una función del tiempo y temperatura de curado.

1.9.3 Relación agua-material cementante

Naturaleza de la relación agua-cemento

La interrelación entre la relación agua-cemento y la resistencia en compresión, la cual ha sido identificada en concretos de baja resistencia, se ha encontrado que es igualmente válida para los concretos de alta resistencia.

Así, los concretos de alto contenido de cemento y bajo contenido de agua han producido altas resistencias. Sin embargo, el proporcionamiento de grandes cantidades de cemento en la mezcla también incrementa la demanda de agua de ésta. Es así que los incrementos del contenido de cemento más allá de un cierto

punto no siempre incrementan la resistencia en compresión, a ello se suman otros factores los cuales pueden limitar el contenido máximo de cemento de la mezcla y que son analizados a lo largo de este trabajo.

Relación agua-material cementante

Cuanto se emplea materiales de características puzolánicas, caso de las microsílices, en el concreto, una relación agua-cemento más material puzolánico en peso se ha considerado en lugar de la tradicional relación agua cemento en peso. Las cenizas que cumplen con los requisitos de la Norma ASTM C 618, con una pérdida por calcinación menor del 3% y que corresponden a los aditivos químicos de los Tipos A, D, F, y G de la norma ASTM C 494 se han empleado usualmente en los Estados Unidos hasta el empleo masivo de las microsílices.

De hecho, el asentamiento del concreto está relacionado a la relación agua-material cementante así como el volumen total de agua en el concreto. Aunque concretos de 0 a 2" de asentamiento se han producido para su empleo en la preparación de elementos prefabricados, se requiere un alto esfuerzo de consolidación en elementos prefabricado.

Asentamientos especificados para concretos vaciados en obra que no contienen un reductor de agua de alto rango, o superplastificante, han variado de 2,5" a 4,5" (64 a 114 mm). Concretos no plásticos colocados en obra han tenido asentamientos medidos con promedios altos como 4,75" (121 mm)

El empleo en la mezcla de aditivos químicos del tipo de superplastificantes ha permitido obtener relaciones agua-material cementante bajas y asentamientos altos.

Las relaciones agua-material cementante en peso, para concretos de alta resistencia, usualmente están en el rango de 0,28 a 0,50. La cantidad de aditivo líquido, especialmente el superplastificante, se ha incluido algunas veces en la relación agua-material cementante.

Estimación de la resistencia en compresión

La resistencia en compresión que un concreto deberá desarrollar en una relación agua-material cementante dada puede variar ampliamente dependiendo del cemento agregados y aditivos empleados.

Las principales causas de variación de la resistencia en compresión en una relación agua-material cementante dada, incluyen la capacidad de producción del cemento y el potencial para reactividad de las microsílices u otras puzolanas que puedan emplearse. Diferentes tipos y marcas de cemento portland han producido diferentes resistencia en compresión.

La información específica pertinente al rango de valores de la resistencia con diferentes cementos ha sido publicada en la Norma ASTM C 917. Las cenizas pueden variar en el índice de actividad puzolánica del 75% al 110% del cemento portland de control, tal como se definió en la norma ASTM C 618. Las microsílices han sido reportadas como que tienen un índice de actividad puzolánica en exceso del 200%

Los requisitos de agua de la puzolana específica empleada son variables y generalmente se incrementan con la fineza de la puzolana. Ello explica la alta demanda de agua de las mezclas en las que se emplea microsílíce u la conveniencia de emplear en ellas un superplastificante para obtener una mezcla manejable con asentamiento adecuado.

La experiencia ha demostrado que son necesarias mezclas de prueba con los materiales seleccionados para la obra. Siempre debe recordarse que generalmente las mezclas de prueba en laboratorio producen resistencias mayores que aquellas que son disponibles durante la producción.

1.9.4 Contenido de cemento

El mejor procedimiento para determinar la cantidad de cemento a ser empleada en una mezcla de alta resistencia, con una relación agua-cemento baja, es la

fabricación de mezclas de ensayo. El contenido de cemento común en programas de ensayo está entre 400 kg/m^3 y 550 kg/m^3 .

En la evaluación del óptimo contenido de cemento, generalmente las mezclas de prueba son dosificadas para igual consistencia, permitiendo al contenido de agua variar de acuerdo a la demanda de agua de la mezcla.

Resistencia: Para un conjunto dado de materiales en una mezcla de concreto, hay un contenido dado de cemento el cual produce la máxima resistencia del concreto. Esta puede no siempre ser incrementada por el cemento añadido a la mezcla adicionalmente a este óptimo contenido de cemento.

La resistencia para un contenido de cemento dado deberá variar con la demanda de agua de la mezcla y las características de producción de resistencia del cemento empleado. El análisis de la Norma ASTM C 917 “Standard Method of Evaluation of Cement Strength Uniformity From a Simple Source” puede ser útil al considerar la fuente de producción del cemento. Los resultados de la evaluación de cubos de mortero para resistencia en compresión a los 90 días pueden ser útiles cuando se dosifica cementos en mezclas de alta resistencia.

La resistencia de las mezclas de concreto dependerá de la relación gel-espacio, la cual, como se sabe, es definida como “la relación del volumen de pasta hidratada a la suma de los volúmenes del concreto hidratado y de los poros capilares”. Es evidente, como es el caso de la incorporación de las microsílices, que cuando mayor es la formación de gel, mayor será la relación gel-espacio y, por lo tanto, mayor resistencia del concreto.

La definición de relación gel-espacio es especialmente cierta cuando se emplea aditivos incorporadores de aire. Los altos contenidos de cemento en concretos con aire incorporado no se ha encontrado que sean útiles en producir resistencias equivalentes o aproximadas a las resistencias obtenibles en un concreto sin aire incorporado. La incorporación de aire puede reducir la resistencia en una relación

del 5% al 7% por cada ciento de aire en la mezcla.

Optimización: Una consideración muy importante al determinar el contenido de cemento deseado, deberá ser la identificación de la combinación de materiales la cual deberá producir la resistencia óptima. Igualmente, la evaluación de cada fuente potencial de cemento, material puzolánico, aditivos líquidos y agregados en concentraciones diversas deberá indicar el óptimo contenido de cemento y la mejor combinación de materiales.

El costo de los ensayos y los requisitos de tiempo generalmente ponen límites a la terminación del programa de testigos, pero debe darse especial atención la evaluación de la marca y tipo de cemento a ser empleada con la clase de microsílíce, si ella es empleada.

La eficiencia en la producción de resistencia deberá variar para diferentes tamaños máximos de agregado en diferentes niveles de resistencia. Una alta eficiencia de los cementos es alcanzada en altos niveles de resistencia con tamaños máximos del agregado menores. Así por ejemplo, un agregado de tamaño máximo de menos de 3/8" (9.5 mm) rinde la más alta eficiencia para mezclas por encima de 50 MPa.

1.9.5 Proporciones del agregado

En el proporcionamiento de los concretos de alta resistencia, los agregados tienen una consideración muy importante desde que ellos ocupan el volumen más alto de los ingredientes del concreto. Generalmente, los concretos de alta resistencia se han producido empleando agregados de peso normal. Shideler y Holm han reportado sobre concretos estructurales de alta resistencia livianos. Mather ha reportado sobre concretos de alta resistencia y alta densidad empleando agregados pesados.

- Agregado Fino

En el proporcionamiento de una mezcla de concreto existe acuerdo en los

investigadores en el sentido que el agregado fino tiene importancia considerablemente mayor sobre las proporciones de la mezcla que el agregado grueso.

El agregado fino tiene un área superficial mucho más alta para un peso dado que el agregado grueso. Desde que el área superficial de todas las partículas de agregado deberá ser revestida con pasta cementante, la proporción de fino a grueso tiene un efecto cuantitativo directo sobre los requerimientos de pasta. Por lo tanto, el perfil de esas partículas de arena puede ser esférico, subangular, o muy angular. Esta propiedad puede alterar los requerimientos de pasta aun cuando el volumen neto de agregado fino permanezca el mismo.

La granulometría de agregado fino juega un papel importante en las propiedades tanto del concreto plástico como endurecido. Por ejemplo, si la arena tiene una sobre abundancia en los tamices de los tamaños N° 50 al N° 100, la trabajabilidad del concreto puede ser mejorada pero se necesitara más pasta para compensar por el incremento de área superficial.

De ocurrir lo indicado, la mezcla será más costosa, o si el volumen de pasta es incrementado por adición de agua, puede producirse una seria perdida de la resistencia. Algunas veces es posible, aunque no necesariamente económico, mezclar arenas de diferentes fuentes para mejorar su granulometría u su capacidad para producir concreto de alta resistencia.

Los bajos contenidos de agregado fino con altos contenidos de agregado grueso pueden dar con resultado una reducción en los requerimientos de pasta y normalmente son más económicos. Tales proporciones igualmente permiten producir altas resistencias para un contenido dado de material cementante, especialmente si se ha utilizado microsílices. Sin embargo, si la proporción de arena es demasiado baja, pueden aparecer serios problemas en la trabajabilidad.

La consolidación por medio de vibradores mecánicos puede ayudar a controlar los

efectos de una mezcla sobrearenosa, y el empleo de equipo de acabado fino puede compensar el que no se emplee frotachado.

El perfil de las partículas y la textura superficial del agregado fino pueden tener sobre la demanda de agua un efecto más importante que el del agregado grueso. Los ensayos han mostrado que los requerimientos del agua para el concreto cambian, en el orden de 4 lt/m^3 , por cada cambio del 1% en el contenido de vacíos de la arena.

- **Agregado Grueso**

El óptimo volumen y tamaño del agregado grueso para una arena dependerá en gran medida de las características de la arena, especialmente de su perfil y su módulo de fineza.

Se sugiere que la proporción de agregado grueso deberá ser incrementada hasta 4% si se emplea arena con bajo contenido de vacíos. Si las partículas de arena son muy angulares, se sugiere que la cantidad de agregado grueso pueda disminuir hasta un 4%.

Otra posibilidad en el proporcionamiento del agregado grueso para los concretos de alta resistencia es alterar el volumen de estos agregados pasando determinados tamices del monto mostrado en la Norma ASTM C 33. Este procedimiento se describe como un medio de evitar interferencias de partículas, permitiendo una mayor cantidad de agregado grueso y menos arena total. Ello ha ayudado a reducir los requerimientos de pasta o permitir el empleo de mezclas más viscosas, lo que resulta en una resistencia más alta.

Proporcionamiento de los agregados

El volumen de agregado grueso sugerido por el comité ACI 211.1 se recomienda para proporcionamiento inicial. Deberán darse consideraciones a las propiedades de la arena (módulo de fineza, angularidad) las cuales pueden alterar la cantidad de agregado grueso.

En general, los menores contenidos de arena acordes con la trabajabilidad necesaria dan las mejores resistencias para una pasta dada. Las herramientas mecánicas para manejo y colocación del concreto han ayudado a disminuir la proporción de arena necesaria.

Como ya se ha indicado, el empleo de pequeños tamaños de agregado grueso es generalmente recomendable, y el agregado chancado ofrece las mejores adherencias a la pasta cementante.

En general se recomienda comenzar los ensayos en muestras de laboratorio con una relación fino/grueso del orden de 45% - 55% y reajustarla de acuerdo a los resultados de trabajabilidad obtenidos.

1.9.6 Proporcionamiento con aditivos

Casi todos los concretos de alta resistencia han sido obtenidos empleando aditivos. Los tipos de aditivos y los cambios y combinaciones de ellos afectan a las propiedades al estado plástico y endurecido de los concretos de alta resistencia. Por lo tanto se ha dado especial atención a los efectos de dichos aditivos.

Se debe hacer un cuidadoso ajuste en las proporciones de la mezcla cuando se modifica una cantidad de un aditivo dado o se utiliza una combinación de ellos. Las características de los materiales pueden variar extensamente, debiendo experimentarse y preparar mezclas de ensayo con los materiales que se considere necesarios.

- Aditivos puzolánicos

Los aditivos puzolánicos, en nuestro caso las microsílices, son utilizados con mucha frecuencia como un reemplazo del cemento. En los concretos de alta resistencia ellos pueden ser empleados como un suplemento del cemento portland en un 10% a 40% en peso del contenido de cemento.

En aquellos casos en los de un incremento neto en el volumen absoluto del material cementante se ha experimentado, debido a una adición de un material puzolánico, una correspondiente disminución en el volumen absoluto del agregado fino.

En el caso de las cenizas se ha encontrado que aquella puede causar una ligera reducción en la demanda de agua de la mezcla y ésta reducción puede ser compensada por la adición de agua. La relación contraria se ha encontrado que es verdadera para otros tipos de puzolana.

Las microsílices incrementan dramáticamente la demanda de agua de la mezcla, lo cual ha hecho que aditivos superplastificantes y retardadores sea un requerimiento obligatorio. El empleo de productos que contienen microsílices obliga al uso de productos químicos cuidadosamente balanceados.

- **Aditivos químicos**

Superplastificantes

Los ajustes en los concretos de alta resistencia en los que se ha empleado reductores de agua de alta rango, también conocidos como superplastificantes, son similares a aquellos ajustes efectuados cuando se emplean reductores de agua convencionales.

Los ajustes suele ser mayores debido al mayor volumen de reducción de agua, aproximadamente 12% a 25%. Se ha efectuado el correspondiente incremento en el contenido de agregado fino para compensar por la pérdida de volumen debido a la reducción del agua en la mezcla.

Algunos diseñadores han asumido la opción fácil de añadir un superplastificante a la mezcla existente sin efectuar un ajuste en las proporciones de la mezcla, a fin de mejorar la trabajabilidad del concreto. En algunas oportunidades, los responsables de la dosificación de las mezclas han reducido el contenido de cemento o el de material cementante, ya sea por razones de economía o para

lograr una reducción en el calor de hidratación.

Sin embargo, en los concretos de alta resistencia se emplea los superplastificantes para disminuir la relación agua-cemento. Estos aditivos han demostrado ser muy efectivos para disminuir la relación agua-material cementante e incrementar el asentamiento.

Debido a la relativamente grande cantidad de líquido que es añadida a la mezcla en la forma de aditivos superplastificantes, el peso de estos aditivos deberá ser considerado en el cálculo de la relación agua-material cementante.

1.9.7 Efecto de la trabajabilidad en las proporciones

La trabajabilidad es definida en el ACI 116R “Cement and Concrete Terminology” como aquella propiedad de las mezclas de concreto fresco, la cual determina la facilidad y homogeneidad con las cuales puede ser mezclado, colocado, compactado y acabado. Es indudable que las propiedades indicadas dependen de la adecuada selección de los materiales integrantes de la mezcla.

Asentamiento: La norma ASTM C 143 describe un método de ensayo estándar para la determinación del asentamiento de concretos de cemento portland, con el cual se determina la consistencia de concretos plásticos y cohesivos.

Este método en general no se considera aplicable para concretos con muy poco o muy alto asentamiento. Otros métodos de ensayo, tales como el consistómetro Vebe se ha empleado en mezclas muy ligosas y pueden ser una mejor ayuda en el proporcionamiento de algunos concretos de alta resistencia.

El buen comportamiento de los concretos de alta resistencia demanda una masa densa y libre de vacíos en contacto total con el acero de refuerzo. El asentamiento deberá reflejar esta necesidad y proporcionar una mezcla trabajable, fácil de vibrar, y con movilidad suficiente para pasar a través del acero de refuerzo que está colocado muy junto.

Usualmente un asentamiento de 4" (102 mm) deberá proporcionar la trabajabilidad requerida, sin embargo, los detalles de encofrados y el espaciamiento de las barras de refuerzo deberán ser considerados prioritarios para el desarrollo de la mezcla de diseño.

Los asentamientos de menos de 3" (76 mm) han hecho una necesidad de equipos y procedimientos de consolidación especiales.

Sin una colocación uniforme, la integridad estructural puede estar comprometida. Las mezclas de alta resistencia tienden a perder asentamientos más rápidamente que los concretos de baja resistencia. Si el asentamiento es empleado como un control de obra, los ensayos deberán efectuarse en un tiempo prescrito después del mezclado. El concreto deberá ser descargado antes que la mezcla deje de ser trabajable.

1.9.8 Mezclas de prueba

Frecuentemente el desarrollo de un programa de concreto de alta resistencia requiere un gran número de mezclas de prueba a las que, adicionalmente, se han empleado mezclas de ensayo bajo condiciones de obra para simular las condiciones de producción.

Deberá tenerse cuidado que todas las muestras de materiales se han tomadas del volumen producido y sean representativas de los materiales que van a ser empleados en la obra. La adecuada programación de las pruebas evitará ensayos accidentales.

Producción en obra de mezclas de prueba

Cuando una mezcla recomendable se ha formulado en el laboratorio, se recomienda reproducirla en obra con los equipos a ser empleados y ensayarla. A menudo las tandas producidas bajo condiciones de laboratorio han presentado un nivel de resistencia significativamente mayor que aquel que puede ser alcanzado bajo condiciones de producción de obra.

Se ha podido observar que la demanda de agua en obra, y por lo tanto el rendimiento del concreto, han variado significativamente de los diseños de laboratorio. La temperatura ambiente y las condiciones de clima igualmente han afectado el comportamiento del concreto.

En la práctica los procedimientos de producción y control han sido mejor evaluados cuando las mezclas producidas en obra al tamaño de aquellas con las que se va a trabajar fueron preparadas empleando el equipo y personal que van a ser empleados en obra.

1.10 PROPIEDADES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EN ESTADO FRESCO

En teoría, una relación agua/cementante cercana a 0,28 es adecuada para la hidratación del cemento, y un contenido adicional de agua sobre esta relación reduce la resistencia a compresión potencial que se puede alcanzar. Incrementar al contenido de cemento para alcanzar esta alta resistencia a edad temprana puede originar calor de hidratación excesivo, causando agrietamiento así como contracciones inadecuadas en el concreto. El incremento del cemento por sí solo no es conveniente como una reducción de la relación agua/cementante para conseguir tal fin.

Por lo expuesto, resulta conveniente aplicar los medios que propicien la reducción de la relación agua/cementante a valores cercanos al mínimo teórico concordantes con el asentamiento deseado y prácticas constructivas adecuadas.

El empleo de superplastificantes en las mezclas de concretos de alta resistencia tiende a satisfacer este requerimiento, dado que con ellos se puede obtener reducciones de agua entre 20% y 30 %. Cuando se emplea superplastificantes en estos concretos se caracterizan por su facilidad de manejo, sus altas resistencias a edades tempranas y finales, excelente durabilidad e impermeabilidad.

La técnica de producir concreto con relación agua/cementante baja, ya sea para obtener alta resistencia o retener trabajabilidad con requerimientos mínimos de agua fue iniciada por los japoneses hace 20 años usando aditivos superplastificantes a base de condensados de formaldehído naftaleno sulfonatado.

A continuación se verá los efectos sobre las propiedades al estado fresco de mezclas preparadas empleando microsílices y superplastificantes.

1.10.1 Superficie interna

La microsílíce tiene una gran área superficial debido a su muy alta superficie específica. Ello tiene un efecto importante sobre las propiedades al estado no endurecido de los concretos. En un dosaje del 10% de microsílíce en peso del cemento, se añaden por cada gramo de cemento 50000 a 100000 microesferas que hacen que la mezcla se sature con material muy fino, y esta adición cause un incremento en la superficie interna de un gran orden de magnitud.

1.10.2 Color

El concreto con microsílíce tanto al estado fresco como en el endurecido tiene una coloración gris oscuro mayor que la de los concretos sin aditivo, la cual se acentúa con el contenido de aditivo. Esto es especialmente cierto en concretos que incorporan altos porcentajes de microsílíce cuyo porcentaje de carbón es relativamente alto.

1.10.3 Aire incorporado

El dosaje de aditivo incorporador de aire necesario para producir un determinado volumen de aire e la pasta se incrementa con aumentos en el contenido de microsílíce, debido a la alta área superficial de esta y a los efectos del carbón cuando este está presente en ella.

En el concreto endurecido, la acción de las microsílices al transformar el hidróxido de calcio en silicatos cálcicos, produce una redistribución de los

poros del concretos, pudiendo reducir, por incremento importante en la impermeabilidad, la demanda de aire incorporado necesaria para controlar el proceso de congelación del agua en la pasta.

1.10.4 Cohesividad

Desde que el concreto con microsílíce es más cohesivo, él es menos susceptible a procesos de segregación que los concretos regulares, aún en los concretos fluidos.

La reducción en la tendencia a la segregación es también útil para lechadas altamente fluidas y mezclas a ser bombeadas. La adición de pequeñas cantidades de microsílíce a una mezcla diseñada para bombeo deberá actuar como una ayuda, dando excelentes características de bombeo.

Otras consecuencias de las modificaciones en la cohesividad es que un concreto con microsílíce no deberá producir exudación. Por lo tanto el concreto deberá ser curado de acuerdo con buenas prácticas de obra. La falta de agua en la superficie también permite que los procesos de acabado puedan empezar bastante antes que con los concretos ordinarios.

La falta de agua de exudación incrementa la resistencia al corte y la tendencia al espesamiento, lo cual ha sido equivocadamente tomado como que la adición de la microsílíce favorece un rápido fraguado.

Sin embargo se olvida que la microsílíce es una puzolana y requiere hidróxido de calcio para comenzar la reacción puzolánica. El tiempo de fraguado para los concretos con microsílíce es similar al de los concretos ordinarios.

En los concretos con microsílíce se requiere un mayor esfuerzo para la compactación como consecuencia de un incremento de las fuerzas cohesivas internas. Si el concreto con microsílíce se manipula como un concreto normal, se puede incrementar ligeramente el asentamiento dado que la microsílíce

proporciona estabilidad al concreto fresco con reducción en la tendencia a la segregación.

1.10.5 Trabajabilidad

El importante incremento en el área superficial da un correspondiente incremento en las fuerzas superficiales internas, lo que origina un aumento en la cohesividad del concreto.

Este efecto es ventajoso pero igualmente da lugar a que el concreto sea menos trabajable durante la colocación, lo cual obliga a un incremento en el asentamiento para mantener una trabajabilidad aparente. Esta es una de las más importantes razones por las cuales las microsílices deben ser empleadas conjuntamente con plastificantes o superplastificantes.

El término trabajabilidad aparente se refiere al efecto de la microsílize sobre el asentamiento medido con el cono, encontrándose que un concreto fresco con microsílize tendrá un efecto más bajo que un concreto que es similar pero normal, debido a la mayor cohesividad de la mezcla.

Cuando se aplica energía a la mezcla, como en el caso de bombeo o vibración, las partículas de microsílize, siendo esféricas, deberán actuar como billas y lubricar la mezcla dando una movilidad que es mayor que la de los concretos ordinarios de similar asentamiento.

Adicionalmente, la incorporación de microsílize deberá causar una disminución en la viscosidad aunque se incrementa ligeramente la resistencia al corte de la mezcla fresca.

El efecto sobre la trabajabilidad deberá variar entre microsílizes precedentes de diferentes marcas o fuentes de abastecimiento. Además, el estado de humedad del producto deberá influir en la demanda de agua del material. La alta superficie específica del material indica que deberá haber un incremento en la

demanda de agua. Ello puede ser parcialmente compensado por modificaciones en la proporciones de la mezcla, tales como la reducción del contenido de otros finos.

En concretos a los cuales se les ha adicionado microsílíce debe considerarse el contenido de agua de la mezcla, el módulo de fineza, superficie específica y contenido de polvo del agregado fino, el perfil y la textura superficial del agregado grueso, las características físicas de la microsílíce; así como los principales factores de obra que puedan ser posibles modificadores de la trabajabilidad del concreto.

La relación agua/cemento es un factor importante en asegurar un concreto de buena calidad con microsílíce, recomendándose que su valor no sea mayor de 0,45 y de preferencia este entre 0,28 y 0,35. Esta combinación se alcanza empleando un superplastificante, para compensar la alta demanda de agua de las microsílíces.

La fluidez de las mezclas es afectada por el momento de adición del superplastificante. Cuando se mantienen constantes la relación agua-cemento y el dosaje de la microsílíce y se demora la adición del superplastificante, la trabajabilidad es más alta que la observada en el caso de una adición inmediata de la microsílíce conjuntamente con el agua de mezcla.

De esta manera, se puede efectuar una importante reducción en la relación agua-cemento y/o el dosaje de la microsílíce demorando la adición del superplastificante a la mezcla del concreto, sin que ello signifique una modificación en el asentamiento.

1.10.6 Demanda de agua

Como una consecuencia de los diferentes cambios en la trabajabilidad de los concretos sin y con microsílíce con el tiempo de adición y el dosaje de aditivo, las diferencias en la demanda de agua entre los dos tipos de concreto varían significativamente con el dosaje de microsílíce empleado.

Cuando el dosaje de aditivo esta sobre 1% mayores incrementos en el dosaje dan por resultado una disminución en las diferencias en la demanda de agua entre los dos tipos de concreto, independientemente del tiempo de adición de la microsíllice. En un dosaje del 3% esta diferencia se reduce en un promedio del 65%.

1.10.7 Asentamiento

Cuando las pérdidas de asentamiento de los varios tipos de concreto, sin y con microsíllice, son comparadas en un rango de tiempo de demora en la adición de 5 a 20 minutos, las mayores reducciones en el asentamiento se encuentran siempre en mezclas con una inmediata adición de la microsíllice. En contraste, las reducciones menores se encuentran con demoras en la adición.

Así, cuando la adición del aditivo es inmediata, la perdida de asentamiento de los concretos con microsíllice dentro de los primeros 10 minutos de mezclado es mayor que la de los concretos sin microsíllice. Inversamente, en el caso de demoras en la adición, las pérdidas de trabajabilidad de los dos tipos de mezclas son similares. En la ausencia de aditivo, la perdida de asentamiento de los concretos con microsíllice es mayor que la de los concretos sin ella.

Lo expuesto sobre la trabajabilidad es aplicable, en lo que corresponda, a la consistencia.

1.10.8 Tiempo de adición

Como consecuencia de los diferentes cambios en la trabajabilidad dependientes del tiempo, la ganancia adicional de la reducción de agua depende del tiempo de mezclado del concreto. Para concretos con microsíllice una reducción del agua se encuentra únicamente cuando el tiempo de mezclado del aditivo se retarda más de 15 minutos.

La trabajabilidad de los concretos a los cuales se ha adicionado microsíllice es afectada por el tiempo de adición del superplastificante. Cuando ella es intencionalmente demorada, tanto la relación agua-cemento como el dosaje de

microsílice necesarios para un asentamiento dado, son significativamente menores que los requeridos en el caso de una adición inmediata de la microsíllice.

En los concretos con microsíllice los cambios en el asentamiento dependientes del tiempo son similares a aquellos de mezclas de cemento portland, únicamente cuando la adición de aditivo es demorada. En el caso de una adición inmediata del superplastificante, la pérdida de asentamiento de los concretos con microsíllice es mayor que las de las mezclas de cemento portland.

Como lógica consecuencia de lo anterior, cuando se tiene tiempos de mezclado menores de 15 minutos, la ganancia adicional de agua debida a la demora en la adición del superplastificante es mayor en los concretos con microsíllice que en las mezclas de cemento portland. Después de 15 minutos, la ganancia de agua es similar para los dos tipos de concreto.

1.10.9 Segregación

Para un mismo contenido de agua, las mezclas que incorporan microsíllice, por su alta fineza y mayor demanda de agua, son más densas y cohesivas y menos propensas a la segregación. El concreto que incorpora más del 10% de microsíllice tenderá a ser más ligoso, debiéndose, para mantener la misma consistencia por un plazo adecuado para permitir la colocación del concreto, incrementar el asentamiento inicial de éste en no menos de 50mm.

Debido a la alta fineza de la misma, cuando se emplea microsíllice, las mezclas tendrán a secarse y ganar consistencia obligando a la utilización de superplastificantes, que permiten obtener mezclas muy fluidas sin modificación en el contenido de agua.

1.10.10 Exudación

La incorporación de microsíllice a la pasta reduce la exudación debido a cambios en las propiedades reológicas del concreto, las cuales controlan las

fuerzas internas causadas por la alta superficie específica total de la adición, al mismo tiempo que mejoran la capacidad de acomodo de las partículas de agregado.

Los cambios indicados son debidos a que las microsílices tienen una alta afinidad por el agua, dando por resultado que queda muy poca libre en la mezcla para exudación. De esta manera su empleo, ya sea como material de adición o de reemplazo, permite reducir o eliminar la exudación, posibilita obtener una adecuada adherencia entre la pasta y el agregado, asegura una importante reducción en el riesgo de segregación, hace innecesaria la eliminación del agua de exudación, produce una mejor adherencia de la pasta con el acero de refuerzo y un incremento en la protección contra la corrosión de éste.

La presencia de microsíllice en la mezcla, al aumentar el contenido de material cementante y por lo tanto el de pasta, tiende a rodear más efectivamente el agregado grueso y reducir o evitar la segregación del mismo.

Al eliminarse virtualmente la exudación, el concreto deberá ser curado de acuerdo a los requisitos establecidos. La falta de agua de exudación igualmente permite un acabado adecuado, el cual puede ser comenzado mucho antes que en el caso de los concretos ordinarios; un incremento en la resistencia al corte, y un fraguado más rápido.

1.10.11 Contracción plástica

El agrietamiento por contracción plástica en la mezcla generalmente ocurre cuando la velocidad de evaporación del agua de la superficie del concreto excede a la velocidad con la cual el agua sube a la superficie por exudación.

Por lo tanto, debido a la reducción de la exudación en los concretos con microsíllice, deberá ejercerse cuidado para proporcionar protección temprana contra las pérdidas de humedad del concreto fresco y así evitar las grietas por

contracción plástica. Se deberá garantizar un curado adecuado tanto en tiempo como en calidad.

1.10.12 Fraguado y Endurecimiento

El tiempo de fraguado de los concretos con microsílíce es similar a aquel de los concretos ordinarios. Estando condicionado a las diversas condiciones de trabajo en obra y pudiendo ser modificado por el empleo de reductores retardadores o de acelerantes sin cloruros.

Conforme el concreto endurece, la acción química de la microsílíce tiene efecto sobre las propiedades físicas. La microsílíce reacciona con el hidróxido de calcio para producir silicato de calcio hidratado. Así, de esta manera, el volumen de gel ligante se incrementa, dando lugar a incremento de la resistencia y reducción de la permeabilidad por densificación de la matriz de concreto.

Desde que la microsílíce tiene una muy alta área superficial y un alto contenido de dióxido de sílice reactivo, ella es más reactiva que otros materiales suplementarios, tales como las cenizas y la escora granulada de alto horno.

Conforme la microsílíce reacciona y produce silicato de calcio hidratado, los vacíos y poros en el concreto son llenados con el hidrato y forman uniones entre los granos de cemento y el agregado. La combinación de efectos químicos y físicos da lugar a que los concretos con microsílíce sean muy homogéneos y densos, mejorando en forma significativamente la resistencia e impermeabilidad.

Se ha encontrado que la interface, rica en portlandita, la cual rodea las partículas de agregado en los concretos normales está virtualmente ausente en los concretos con microsílíce.

1.10.13 Calor de hidratación

La reacción puzolánica entre la microsílíce, el hidróxido de calcio, y el agua genera calor aunque en el concreto con microsílíce desarrollará menos calor total que el concreto sin ella. Ello porque la cantidad de cemento se reduce, al igual que el calor total inicialmente involucrado.

La microsílíce, añadida en lugar del tercio de cemento que puede ser removido, comienza a reaccionar posteriormente a la liberación del hidróxido de calcio, y por ello no contribuye mucho al calor desarrollado por el proceso de hidratación, especialmente en sus etapas iniciales.

Los concretos con microsílíce son muy sensibles a las variaciones de temperatura durante su endurecimiento. La magnitud de hidratación y con ella el desarrollo de resistencia, deberán ser reducidos cuando disminuye y acelerados con incrementos en la temperatura.

La reducción del calor de hidratación disminuirá los esfuerzos de temperatura que pudieran presentarse en estructuras masivas. Los concretos con microsílíce requieren de mayor cuidado y mejores condiciones de curado si el proceso de consolidación se efectúa en invierno.

1.10.14 Peso unitario

En los concretos en los que se ha reemplazado cemento por microsílíce, el peso de la unidad cúbica de la mezcla no experimentará variaciones fundamentales. Algunos autores afirman que el valor medido del peso unitario de los concretos de alta resistencia es ligeramente más alto que el de un concreto de baja resistencia preparado con los mismos materiales.

1.11 PROPIEDADES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA ENDURECIDO

Los concretos de alta resistencia tienen algunas características y propiedades que son diferentes de las de los concretos de menor resistencia. Los cambios

internos resultantes de cargas sostenidas y términos más cortos, así como las condiciones ambientales diferentes los hace distintos.

Directamente relacionadas a esas diferencias internas están las distinciones en las propiedades mecánicas, las cuales deberán ser reconocidas por el diseñador. Estas distinciones se incrementan significativamente conforme la resistencia aumenta.

1.11.1 Resistencia a la compresión

Las resistencia mecánicas del concreto, especialmente la resistencia en compresión, se modifican en forma muy importante si se incorpora microsílíce a la mezcla. La magnitud y porcentaje de incremento de la resistencia depende de numerosos factores, algunos de los cuales son el tipo de mezcla, tipo de cemento, cantidad de microsílíce, empleo de aditivos reductores de agua; propiedades del agregado; y régimen de curado.

Los concretos con microsílíce parecen seguir las relaciones convencionales entre resistencia y relación agua-cemento. Sin embargo, las curvas son más paradas cuando se añade la microsílíce.

Como cualquier otro material suplementario, los concretos con microsílíces son más sensitivos a un secado rápido, pudiendo presentarse por ello una disminución en la resistencia final. Algunas combinaciones de microsílíce y cenizas aparecen más resistentes a este efecto.

El concreto de alta resistencia muestra una proporción más alta de aumento de resistencia a edades tempranas comparadas con concreto de resistencias más bajas, pero en edades más tarde, la diferencia no está en la resistencia del concreto y varía entre 0,70 a 0,75 para concretos de resistencia más bajo, mientras otros investigadores encontraron proporciones típicas de 7 días a 95 días la resistencia varía de 0,60 para resistencia baja, 0,65 para resistencias medias, y 0,73 para resistencias altas de concreto.

Probablemente, la proporción más alta de desarrollo de resistencia de estos concretos a edades tempranas es causada a través de, primero, un aumento en la temperatura interior del curado de los cilindros de concreto debido a un calor más alto de hidratación y, segundo, por la más corta distancia entre las partículas hidratadas, debido a las bajas proporciones de la relación agua/cemento.

1.11.2 Resistencias en tensión y flexión

La interrelación porcentual entre las resistencias en tensión, flexión y compresión son similares en los concretos con microsílíce y los concretos ordinarios. Así un incremento en la resistencia en compresión empleando microsílíces deberá dar por resultado un incremento proporcional en las resistencias a la tensión y flexión, tal como en los concretos sin microsílíce.

1.11.3 Durabilidad

La durabilidad del concreto es modificada por la presencia de microsílíce en la mezcla. Factores tales como ataques químicos, reacción álcali-agregado, ataque por sulfatos; procesos de congelación y deshielo; desgaste por abrasión, acción del fuego, tienen una distinta acción sobre el concreto ya se trate que éste tenga o no microsílíce incorporada.

1.11.4 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es determinado como la cuesta de la tangente a la curva esfuerzo-deformación uniaxial de compresión a 25 por ciento de tensión del máximo de 29 GPa a 36 GPa para concretos que tienen resistencias a compresión que van de 69 MPa a 76 Mpa. Muchos otros investigadores han informado valores por el módulo de elasticidad de concreto de alta resistencia solidificada del orden de 31 a 45 GPa, que dependen principalmente del método de determinar el módulo.

Una comparación de valores determinados experimentalmente para el módulo de elasticidad son aquellos por la expresión dada de ACI 318, para concretos de resistencia baja, y se basó en un peso de la unidad seco de 2346 kg/m^3 .

En el caso de estos concretos con una alta resistencia a compresión muy temprana, existe la posibilidad de que, a causa de una cantidad limitada de hidratación, la adherencia entre el agregado y la matriz no se desarrolle proporcionalmente. En consecuencia, con resistencia alta a edades muy tempranas, la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad es probable que sea más bajo de lo que se esperaría de las relaciones usuales entre estas propiedades y la resistencia a compresión.

La deformación elástica del concreto es de interés particular, puesto que el módulo de elasticidad de la pasta muy resistente de cemento endurecido y del agregado difieren menos uno de otro que en el concreto de resistencia media, además porque el concreto de alta resistencia es más monolítico y la resistencia de la interface de agregado y matriz es más alta.

1.11.4 Módulo de ruptura

Para el módulo de ruptura de peso ligero y el peso normal del concreto de alta resistencia caen en el rango de $7,5 \sqrt{f'_c}$ a $12 \sqrt{f'_c}$, donde ambos el módulo de ruptura y la resistencia de compresión se expresa en psi.

1.11.5 Resistencia de fatiga

Estudios muestran que de la resistencia de fatiga en compresión axial de concreto de alta resistencia, con unos cubos de 102 mm a fuerza de compresión de 76,9 Mpa, se encontró que después de un millón de ciclos, la resistencia de especímenes sujeta a carga repetida varió entre 66 y 71 por ciento de la resistencia estática para un nivel de tensión mínimo de 1250 psi (8,6 MPa). Los valores más bajos se encontraron para el concreto de alta resistencia y para concreto hecho con los tamaños más pequeños en el agregado grueso, pero la magnitud real de la diferencia fue pequeña.

1.11.6 Permeabilidad y Porosidad

Para lograr un concreto durable frente a agentes agresivos la propiedad más importante es la permeabilidad. Reacciones destructivas, tales como ataque por sulfatos, reacción álcali-agregados, corrosión del refuerzo, y procesos de congelación y deshielo, inicialmente involucran al ingreso de movimientos de agua o soluciones agresivas.

La baja permeabilidad involucra una restricción del acceso de agua o soluciones provenientes de fuentes externas, o el movimiento interno de soluciones desde los poros a los sitios de reacción. El estudio de la porosidad y de la distribución por tamaños de los poros proporciona valores cualitativos en relación con la permeabilidad.

En relación con su efecto sobre la permeabilidad, estructura de los poros, y durabilidad frente a la acción agresiva de elementos específicos, el empleo de microsílíce en las mezclas proporciona una porosidad muy baja con un incremento de la impermeabilidad del concreto.

El coeficiente de permeabilidad a los 28 días en los concretos con microsílíce es del orden de 0,9, valor menor que el de 3,8 que corresponde a los concretos sin microsílíce. Las pastas que contienen un 20% de microsílíce como material de reemplazo son las más efectivas en minimizar la permeabilidad a los 28, 91 y 182 días.

1.11.7 Contracción y expansión

Los cambios en el contenido de humedad que se producen en la pasta influyen en las fuerzas de atracción interna del material, produciendo contracciones y expansiones en el proceso de intercambio de humedad del material con el medio ambiente.

Se posee poca información sobre el comportamiento en contracción de los concretos de alta resistencia. Se ha reportado un valor relativamente alto de la

resistencia inicial de contracción, pero después de los 180 días hay una pequeña diferencia en la contracción de los concretos de alta resistencia y la de los de baja cuando son preparados con caliza o dolomita.

La magnitud de la contracción por secado indica un buen comportamiento si el concreto está diseñado y curado adecuadamente. Si bien el concreto con microsílíce puede ser sensible a la contracción cuando está expuesto a secado brusco a temprana edad, dependiendo del agua del concreto, no se observan diferencias significativas ya sea que el concreto tenga o no microsílíce.

La reducción en el periodo de curado de 28 a 7 días causa un ligero incremento en la contracción. Esta no es afectada por cambios en la relación agua-cemento, pero se ha determinado que es aproximadamente proporcional al porcentaje de agua por volumen en el concreto.

Si bien la contracción de los concretos con microsílíce es similar a la de los concretos normales, debido a la reducción en el tiempo de secado, la contracción tiene lugar más lentamente en los concretos con microsílíce, lo cual podría dar la idea que la contracción es menor en los concretos con microsílíce que en los concretos normales.

1.11.8 Escurrimiento plástico

El escurrimiento plástico de los concretos con microsílíce está relacionado a concretos de alta resistencia. Se ha encontrado una importante reducción en el escurrimiento plástico por la adición de microsílíces en los concretos de alta resistencia si se los compara con concretos de resistencia normal.

Se ha reportado que la deformación total observada en concretos de alta resistencia bajo una carga sostenida del 30% de la resistencia última fue la misma que la de los concretos de menor resistencia cuando es expresada como una relación de la deformación en el corto plazo.

Bajo condiciones secas, esta relación fue 25% más baja que la de los concretos de resistencia menor. La deformación total en el largo plazo de concretos de alta resistencia secada y sellada fue de 15% a 65% más alta, respectivamente, que la de un concreto de baja resistencia en un nivel similar de esfuerzos.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 TIPO DE ESTUDIO

El tipo de estudio de esta investigación, se enfoca directamente a una investigación bibliográfica y experimental.

Se sitúa en el presente, pero no se limita a la simple tabulación de datos, sino que se hace la interpretación y el análisis de los mismos con una finalidad pre-establecida.

Para el desarrollo de la investigación se llevó a cabo la identificación de los materiales a utilizar en base a tesis³ desarrolladas con anterioridad en la Universidad Nacional de Chimborazo, seleccionando los agregados que se destacan por sus propiedades físicas en base a los requerimientos de los concretos de alta resistencia, en este caso los materiales a utilizarse son: agregado grueso de la mina Cerro Negro, agregado fino de la mina de Penipe (Arena del Rio Chambo) y cemento Holcim-Rocafuerte.

Una vez seleccionado los agregados se obtuvieron muestras para comprobar dichas propiedades en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Escuela de Ingeniería de la UNACH, aquí se obtuvieron las propiedades de los materiales empleados en la elaboración del concreto de alta resistencia, el estudio se lo hizo durante 15 días. Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Masa Unitaria Suelta del agregado grueso, fino y cemento.
- Masa Unitaria Compactada del agregado grueso y fino.
- Contenido de humedad del agregado grueso y fino.
- Capacidad de absorción del agregado grueso y fino.

³ Curva: “Resistencia vs. Tiempo para $f'c=21\text{Mpa}$ ” Componentes (Arena Rio Chambo-Penipe, agregado grueso Cerro Negro, Cemento Chimborazo). Autor: Luis Ramón Pincha.

- Granulometría de agregado grueso y fino
- Densidad de agregados en estado de Superficie Saturada Seca
- Peso específico de agregado grueso, fino y cemento.

Con los resultados de las propiedades físicas y resistencia de los materiales, se elaboró un diseño para la obtención de un concreto de alta resistencia mediante la adición de microsílíce (Sikafume) y superplastificante (Viscocrete 2110) en la mezcla; que proponemos más adelante logrando una distribución óptima de agregados, adiciones y superplastificante, pudiendo de esta manera utilizar este diseño de mezcla para aplicarlos en estructuras sometidas a grandes esfuerzos. Este proceso se desarrolló por un lapso de 75 días.

Al finalizar la investigación se presentara un diseño de mezcla final, para un concreto con una resistencia a la compresión de 50 MPa, con el detalle de sus propiedades físicas, tanto en estado fresco como endurecido, para esto se llevara un tiempo de 40 días, dentro del cual se analizaron datos y resultados obtenidos de las mezclas con diferentes porcentajes de microsílíce y superplastificante.

2.2 POBLACIÓN MUESTRA

2.2.1 Población

La investigación a desarrollarse se refiere a la obtención de un concreto de alta resistencia mediante la adición de microsílíce y superplastificante, por lo que se necesitó contar para este trabajo con una población de 95 cilindros (probetas de hormigón), los que fueron ensayos a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días.

El universo de nuestro estudio, está conformado por dos condiciones: la primera se refiere a un sondeo para hallar el contenido óptimo de microsílíce y superplastificante. La segunda nos permitió la proporción óptima de materiales, aditivo y adiciones para la obtención de un concreto de alta resistencia.

2.2.2 Muestra

De la población establecida anteriormente se distribuirá como se muestra en la tabla 5:

Tabla 5: Distribución de Probetas para su respectivo ensayo

Dosificaciones Iniciales (mc=cemento-%Microsílice)					
% Microsílice	Días de Curado				Total Probetas
	7		28		
0	3 probetas		3 probetas		6
3	3 probetas		3 probetas		6
5	3 probetas		3 probetas		6
7	3 probetas		3 probetas		6
9	3 probetas		3 probetas		6
10	3 probetas		3 probetas		6
Total=					36
Dosificaciones Iniciales (mc=cemento+%Microsílice)					
% Microsílice	Días de Curado				Total Probetas
	7		28		
3	2 probetas		2 probetas		4
5	2 probetas		2 probetas		4
7	2 probetas		2 probetas		4
10	2 probetas		2 probetas		4
Total=					16
Dosificación Final (mc=cemento+%Microsílice)					
% Microsílice	Días de Curado				Total Probetas
	7	14	21	28	
3	4 probetas	4 probetas	4 probetas	10 probetas	22
Total=					22

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

- **Variable independiente**

Tabla 6: Operalización de la Variable Independiente

Variable	Indicador	Índice	Técnicas e instrumentos	Fuente
Obtención de un concreto de alta resistencia mediante la adición de microsílíce y superplastificante en la mezcla.	<p>Materiales empleados en la dosificación.</p> <p>Trabajabilidad del concreto</p> <p>Efectividad y eficiencia del concreto de alta resistencia.</p>	<p>Propiedades físicas de los agregados, cemento, adiciones y superplastificante.</p> <p>Resistencia a la compresión y propiedades del hormigón fresco y endurecido.</p>	<p>Ensayos convencionales en el laboratorio de ensayo de materiales.</p> <p>Ensayos en el concreto en estado fresco.</p> <p>Ensayo a compresión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Normas Ecuatorianas de la Construcción. • Normas ASTM. • Normas INEN. • Normas ACI

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

- **Variable dependiente**

Tabla 7: Operalización de la Variable Dependiente

Variable	Indicador	Índice	Técnicas e instrumentos	Fuente
Resistencia a compresión adquirida a los 28 días.	Resistencia característica del diseño de mezcla propuesta.	Desviación estándar.	Ensayos en probetas de concreto. Evaluación estadística de los resultados de los ensayos	<ul style="list-style-type: none"> • Normas Ecuatorianas de la Construcción. • Normas ASTM. • Normas INEN. • Normas ACI

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

2.4 PROCEDIMIENTOS

Se ha propuesto una metodología de evaluación propia para que nos permita obtener los resultados y conclusiones de cada uno de los objetivos planteados en la investigación; el procedimiento utilizado es el siguiente:

- Investigar sobre los agregados más apropiados a utilizarse en diseños de concreto, en tesis desarrolladas con anterioridad en la Universidad Nacional de Chimborazo.
- Ensayos de los agregados: Mediante los diferentes ensayos de laboratorio, nos permitirá obtener las características mecánicas de los agregados a utilizarse para el diseño un concreto de alta resistencia.
- Diseño patrón de concreto: se estableció un proporcionamiento de agregados en base al comité ACI 211.4.
- Agregar al diseño patrón microsílíce y superplastificante en diferentes porcentajes, tomar muestras y ensayar a los tiempos indicados según normas establecidas.
- Determinar el diseño óptimo según el porcentaje de microsílíce y superplastificante agregado para alcanzar un concreto de alta resistencia.

2.4.1 Investigación sobre los agregados más apropiados a utilizarse en diseños de concreto en la ciudad de Riobamba

Investigaciones realizadas en la UNACH como parte de tesis de grado que se encuentran en la biblioteca han señalado que los agregados de la mina de Penipe (agregado fino) y la mina de Cerro Negro (agregado grueso), cumplen con los requisitos para ser utilizados en la elaboración del concreto

Para confirmar lo expuesto, se realizará ensayos de los agregados para determinar las propiedades mecánicas.

a) Objetivo

Investigar sobre los agregados más apropiados a utilizarse en diseños de concreto en la ciudad de Riobamba.

b) Muestra

- ✓ Tesis de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Chimborazo.

c) Datos

Para la investigación y comparación de los materiales a utilizarse para el diseño de un concreto de alta resistencia fue necesaria una técnica exploratoria, con el propósito de obtener una recolección de datos confiables, relacionados con los procesos de elaboración de un CAR.

2.4.2 Procedimientos de ensayos de los materiales utilizados para la dosificación del Concreto de alta resistencia

Este procedimiento especifica la obtención de las propiedades de los materiales que forman parte de la elaboración de un concreto de alta resistencia.

a) Objetivo

Ensayar los materiales utilizados en la dosificación del concreto de alta resistencia.

b) Muestra

Agregado fino de Rio Chambo

Este agregado se lo extrae del Rio chambo, las canteras se encuentran ubicadas a 5 minutos del cantón Penipe.

Agregado Grueso de Cerro Negro

En nuestro medio, a este agregado comúnmente se lo conoce como “ripio”, proviene de las minas ubicadas en el sector de Cerro Negro.

Cemento puzolánico, Holcim tipo I

Comercialmente en nuestro medio se lo puede adquirir en las franquicias de Disensa.

Adición Sikafume

Aditivo en polvo con base a sílica-fume, se lo puede encontrar en franquicias de Sika en fundas de 15 kg.

Aditivo Sika Viscocrete 2110

Aditivo superplastificante con retardo, se lo puede encontrar en la empresa Sika.

c) Cálculo de valores característicos

El cálculo de valores característicos de los materiales empleados en la elaboración del concreto de alta resistencia, se desarrolla bajo el siguiente procedimiento:

- 1) Cálculo del valor promedio \bar{X} (prom.) de n datos

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

- 2) Cálculo de la diferencia entre el valor promedio calculado y los valores individuales

$$x_i - \bar{x}$$

- 3) Cálculo del cuadro de la diferencia entre el valor promedio calculado y los valores individuales

$$(x_i - \bar{x})^2$$

- 4) Cálculo de la sumatoria de los cuadrados de la diferencia entre el valor promedio calculado y los valores individuales.

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

5) Cálculo de la desviación estándar

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

6) Cálculo del valor característico de ensayos

Tabla 8: Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 evaluaciones

# EVALUACIONES	FACTOR DE MAYORACIÓN K
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30	1,00

Fuente: ACI 318S-08⁴ (71)

Se puede realizar una interpolación o extrapolación, para un número menor a 15 evaluaciones.

El valor característico se calcula con la siguiente fórmula:

$$Val_{caract.} = x_m - 1,34 * K * \delta$$

Dónde:

Val_{caract.} = Valor característico

K = Factor de mayoración

δ = Desviación estándar

El valor de K para un número de evaluaciones de 10 se lo calcula mediante una extrapolación, cuyo procedimiento es el siguiente:

1) Igualamos los valores de la tabla a una expresión cuadrática:

$$Y = ax^2 + bx + c$$

⁴ BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE (318S-08)/ American Concrete Institute; (71)

Los valores de la variable dependiente se reemplazan en Y y los valores de la variable independiente en x y obtenemos las siguientes ecuaciones:

x	Y
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30	1,00

Ec. 1 $1.16 = 225a + 15b + c$

Ec. 2 $1.08 = 400a + 20b + c$

Ec. 3 $1.03 = 625a + 25b + c$

2) Resolvemos el sistema de ecuaciones hallando los coeficientes a , b y c

Dónde:

$$a = 0,006$$

$$b = -0,0370$$

$$c = 1,58$$

3) Reemplazamos los valores de a , b y c en la ecuación cuadrática reemplazando en la variable independiente el valor de 10.

$$Y = 0,0006 * (10)^2 - 0,0370 * (10) + 1,58$$

$$Y = 1,270$$

El factor de modificación para la desviación estándar para 10 evaluaciones es de $K=1,270$

2.4.2.1 Peso específico y absorción de agua del agregado fino

Este procedimiento está basado en la norma ASTM C 128 y la norma INEN 856, las cuales establecen el proceso para la determinación del peso específico y el porcentaje de absorción del agregado fino.

Equipos y Materiales

- Balanza sensibilidad 0,10 g
- Picnómetro de 500cm³ de capacidad
- Molde troncónico metálico
- Varilla de compactación
- Horno capaz de mantener la temperatura constante
- Bandejas
- Pipetas



Figura 2: Instrumental de ensayo
Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Procedimiento

Preparación de la muestra

La preparación de la muestra servirá en la determinación del peso específico como

del porcentaje de absorción del agregado fino.

1. Pesar 1000 g. de árido fino aproximadamente.
2. En un recipiente colocar agua y sobresaturar la muestra de árido fino por 24 horas.
3. Una vez transcurrido este tiempo retirar el contenido de agua del recipiente evitando la pérdida del material fino.
4. Secar la muestra uniformemente en una superficie plana revolviéndola continuamente y esparciéndola.
5. Colocar en una superficie lisa y no absorbente el molde troncónico y llenarlo en su totalidad con material parcialmente seco de la muestra de árido fino, con el compactador apisonar por 25 veces.
6. Llenar el molde y observamos si conserva o no la forma del molde, si la muestra conserva la forma del molde significa que todavía el material conserva humedad superficial, pero si por lo contrario la muestra se desmorona quiere decir que el material está en estado SSS (superficie saturada seca).

- **Determinación del Peso Específico**

1. Pesar el picnómetro vacío.
2. Se toma de 300 a 500 g de la muestra en estado SSS ya preparada anteriormente.
3. Introducir en el picnómetro la muestra y tomar la masa de picnómetro + árido en SSS.
4. Llenar con agua destilada el picnómetro hasta el 90 % de su capacidad.
5. Se eliminará las burbujas de aire con movimientos lentos y circulares.
6. Completar hasta los 500 cm³ de agua para aforarlo con la utilización de una pipeta.
7. Registrar la masa del conjunto: picnómetro + árido + agua.
8. Vaciar el contenido del picnómetro, lavarlo y secarlo cuidadosamente.
9. Se tabula la masa del picnómetro calibrado, llenándolo hasta la marca de 500 cm³ con agua destilada.
10. Calcular y tabular la masa del árido en SSS, volumen desalojado y por último el Peso Específico.

- **Determinación de la Capacidad de Absorción**

1. Determinar la masa del recipiente o bandeja.
2. Colocar una masa de muestra en SSS en el recipiente y registrar la masa recipiente + muestra.
3. Introducir el recipiente con el árido en SSS al horno y secarlo hasta alcanzar masa constante.
4. Una vez secada la muestra tabular la masa del recipiente + la muestra en estado seco.
5. Calcular la masa en estado SSS, en estado seco, masa el agua contenida en la muestra y finalmente la capacidad de absorción.

2.4.2.2 Determinación del porcentaje de Humedad del Árido Fino

Este ensayo está basado en la norma INEN 862 del Instituto Ecuatoriano de Normalización la cual establece el procedimiento y las condiciones necesarias para realizar la determinación del porcentaje de humedad del árido fino.

Equipo y Materiales

- Balanza sensibilidad: 0,10 g
- Cuarteador universal
- Horno capaz de mantener la temperatura constante.
- Recipientes metálicos

Procedimiento

1. Siguiendo los procesos de muestreo se toma una muestra representativa de árido fino.
2. Determinar la masa del recipiente o bandeja.
3. Colocar una masa de muestra en estado natural en el recipiente y registrar la masa recipiente + muestra evitando la pérdida de humedad.
4. Introducir el recipiente con el árido en estado natural al horno y secarlo hasta alcanzar masa constante aproximadamente en 24 horas.

5. Una vez secada la muestra registrar la masa del recipiente + la muestra en estado seco.
6. Calcular la masa en estado seco, masa el agua contenida en la muestra y finalmente el porcentaje de humedad.

2.4.2.3 Determinación de la Masa Unitaria Suelta del Árido Fino (MUS)

Este ensayo está basado en la norma INEN 858 en la cual se establece la normativa que se deberá aplicar en la obtención de la masa unitaria suelta del agregado fino. Dentro de esta normativa se establece las condiciones básicas de utilización de materiales, equipos y el entorno de trabajo en el laboratorio.



Figura 3: Muestra del agregado fino

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.

Flor C. Pérez G.

Equipo y Materiales

- Balanzas
- Recipientes cilíndricos metálicos.
- Varilla lisa de compactación.
- Pipetas.
- Agua

- Placa de vidrio.
- Carretilla

Procedimiento

1. Aforar el recipiente metálico con agua y colocar una placa de vidrio, para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
2. Registrar la masa del recipiente metálico + agua.
3. Calcular el volumen del recipiente.
4. Retirar el agua del recipiente metálico y secarlo.
5. Realizar el proceso de muestreo del árido fino.
6. Llenar el recipiente para agregados finos con el material procedente del muestreo, en forma lenta y progresiva.
7. Nivelar la superficie del recipiente con la utilización de la varilla de compactación.
8. Registrar la masa del recipiente metálico más el agregado.
9. Repetir la colocación de material en el recipiente dos veces más por cada ensayo hasta la toma de masas del recipiente + árido.
10. Tabular las masas calculando el promedio de las masas unitarias sueltas.
11. Calcular y tabular la masa del árido suelto.
12. Calcular la masa unitaria suelta del árido.

2.4.2.4 Determinación de la Masa Unitaria Compactada del Árido Fino (MUC)

Este ensayo está basado en la norma INEN 858 en la cual se establece la normativa que se deberá aplicar en la obtención de la masa unitaria compactada del agregado fino. Dentro de esta normativa se establece las condiciones básicas de utilización de materiales, equipos y el entorno de trabajo en el laboratorio.

Equipo y Materiales

- Balanza
- Recipiente cilíndrico metálico

- Varilla lisa de compactación.
- Pipetas.
- Agua
- Placa de vidrio.
- Carretilla

Procedimiento

1. Aforar el recipiente metálico con agua y colocar una placa de vidrio, para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
2. Registrar la masa del recipiente metálico + agua.
3. Calcular el volumen del recipiente.
4. Retirar el agua del recipiente metálico y secarlo.
5. Realizar el proceso de muestreo del árido fino.
6. Llenar el recipiente para agregados finos con el material procedente del muestreo, en forma lenta y progresiva hasta $1/3$ de la altura del recipiente, con la varilla procedemos a compactar con 25 golpes, tratando que los mismos sean en toda la superficie.
7. Volvemos a llenar con $1/3$ más y repetimos la operación de compactación con 25 golpes.
8. Llenamos el recipiente y volvemos a compactar con 25 golpes.
9. Nivelar la superficie del recipiente con la utilización de la varilla de compactación.
10. Registrar la masa del recipiente metálico más el agregado.
11. Repetir la colocación de material en el recipiente dos veces más por cada ensayo hasta la toma de masas del recipiente + árido.
12. Tabular las masas calculando el promedio de las masas unitarias compactadas.
13. Calcular y tabular la masa del árido compactada.
14. Calcular la masa unitaria compactada del árido.



Figura 4: Ejecución del MUC del agregado fino
Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

2.4.2.5 Análisis Granulométrico del Árido Fino

Este método de ensayo está basado en la norma ASTM C 136 y en la norma INEN 692: 2011, este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como árido para hormigón o mortero.

Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos.

Equipos y materiales

- Balanza 2610 g.
- Tamices
- Recipientes
- Brocha

- Tamizadora.



Figura 5: Tamizadora con serie de tamices para áridos finos

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Procedimiento

1. Secar la muestra hasta masa constante a temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Seleccionar los tamices en forma descendente 3/8, N.- 4, N.- 8, N.- 16, N.- 30, N.- 50, N.- 100, N.- 200, bandeja
3. Pesar 3000 g de material y colocarlo sobre el tamiz 3/8.
4. Colocar sobre la tamizadora mecánica por un lapso de 15 minutos.
5. Pesar el material contenido en cada tamiz.

2.4.2.6 Peso específico y absorción de agua del agregado grueso

Este procedimiento está basado en la norma INEN 857, las cuales establecen el proceso para la determinación del peso específico y el porcentaje de absorción del agregado fino.

Equipo y Materiales

- Balanza de sensibilidad 0,10g
- Canastilla de Alambre

- Horno
- Recipientes

Preparación de la muestra

La preparación de la muestra nos servirá para determinar el peso específico y la capacidad de absorción.

1. Consiste en obtener una porción de agregado grueso usando uno de los métodos establecidos tales como cuarteo manual o mecánico, además todo material que pase por el tamiz #4 debe eliminarse.
2. Lavar la muestra destinada para el ensayo para eliminar recubrimientos superficiales de las partículas.
3. Sumergir en agua el agregado grueso durante un periodo de 24 horas.
4. Retirar la muestra del agua y secarla con una franela hasta eliminar la capa visible de agua, obteniendo así el estado SSS (superficie saturada seca).

- **Determinación de la capacidad de absorción**

1. Determinamos la masa del recipiente donde se colocará la muestra.
2. Tomar una porción de muestra en estado SSS y depositarlo en el recipiente de masa conocida. Registrar la masa de árido en SSS + recipiente.
3. Introducir el recipiente que contiene el agregado al horno y someterlo a temperatura constante por 24 horas.
4. Retirar la muestra del horno y registrar nuevamente la masa del conjunto.
5. Calcular la masa del árido en SSS, masa del árido seco, masa del agua contenida en el árido y la capacidad de absorción.

- **Determinación del peso específico**



Figura 6: Instrumental de ensayo obtención peso específico

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.

Flor C. Pérez G.

1. Determinar el peso del recipiente que contendrá el árido en SSS.
2. Colocar el agregado en SSS en el recipiente y registrar su peso.
3. Pesar la canastilla vacía sumergida en agua.
4. Colocar el agregado en SSS dentro de la canastilla, sumergir en agua y registrar su peso. Antes de registrar su peso se debe eliminar las burbujas de aire atrapadas en la canastilla con movimientos lentos circulares.
5. Calculamos la masa del árido en SSS, la masa del árido grueso en agua, el volumen desalojado y el peso específico del árido.

2.4.2.7 Determinación del porcentaje de Humedad del Árido Grueso

Este ensayo está basado en la norma INEN 862 del Instituto Ecuatoriano de Normalización la cual establece el procedimiento y las condiciones necesarias para realizar la determinación del porcentaje de humedad del árido grueso.

Equipo y Materiales

- Balanza sensibilidad: 0,10 g
- Cuarteador universal
- Horno capaz de mantener la temperatura constante.
- Recipientes metálicos

Procedimiento

1. Siguiendo los procesos de muestreo se toma una muestra representativa de árido grueso.
2. Determinar la masa del recipiente o bandeja.
3. Colocar una masa de muestra en estado natural en el recipiente y registrar la masa recipiente + muestra, evitando la pérdida de humedad.
4. Introducir el recipiente con el árido en estado natural al horno y secarlo hasta alcanzar masa constante aproximadamente en 24 horas.
5. Una vez secada la muestra registrar la masa del recipiente + la muestra en estado seco.
6. Calcular la masa en estado seco, masa el agua contenida en la muestra y finalmente el porcentaje de humedad.

2.4.2.8 Determinación de la Masa Unitaria Suelta del Árido Grueso (MUS)

Este ensayo está basado en la norma INEN 858 en la cual se establece la normativa que se deberá aplicar en la obtención de la masa unitaria suelta del agregado grueso. Dentro de esta normativa se establece las condiciones básicas de utilización de materiales, equipos y el entorno de trabajo en el laboratorio.

Equipo y Materiales

- Balanzas
- Recipientes cilíndricos metálicos.
- Varilla lisa de compactación.
- Pipetas.
- Agua
- Placa de vidrio.
- Carretilla

Procedimiento

1. Aforar el recipiente metálico con agua y colocar una placa de vidrio, para evitar el

exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.

2. Registrar la masa del recipiente metálico + agua.
3. Calcular el volumen del recipiente.
4. Retirar el agua del recipiente metálico y secarlo.
5. Realizar el proceso de muestreo del árido grueso.
6. Llenar el recipiente para agregados gruesos con el material procedente del muestreo, en forma lenta y progresiva.
7. Nivelar la superficie del recipiente con la utilización de la varilla de compactación.
8. Registrar la masa del recipiente metálico más el árido.
9. Repetir la colocación de material en el recipiente dos veces más por cada ensayo hasta la toma de masas del recipiente + árido.
10. Tabular las masas calculando el promedio de las masas unitarias sueltas.
11. Calcular y tabular la masa del árido suelto.
12. Calcular la masa unitaria suelta del árido.

2.4.2.9 Determinación de la Masa Unitaria Compactada del Árido Grueso(MUC)

Este ensayo está basado en la norma INEN 858 en la cual se establece la normativa que se deberá aplicar en la obtención de la masa unitaria compactada del agregado grueso.

Equipo y Materiales

- Balanza
- Recipiente cilíndrico metálico
- Varilla lisa de compactación.
- Pipetas.
- Agua
- Placa de vidrio.
- Carretilla

Procedimiento

1. Aforar el recipiente metálico con agua y colocar una placa de vidrio, para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
2. Registrar la masa del recipiente metálico + agua.
3. Calcular el volumen del recipiente.
4. Retirar el agua del recipiente metálico y secarlo.
5. Realizar el proceso de muestreo del árido grueso.
6. Llenar el recipiente para áridos gruesos con el material procedente del muestreo, en forma lenta y progresiva hasta $1/3$ de la altura del recipiente, con la varilla procedemos a compactar con 25 golpes, tratando que los mismos sean en toda la superficie.
7. Volvemos a llenar con $1/3$ más y repetimos la operación de compactación con 25 golpes.
8. Llenamos el recipiente y volvemos a compactar con 25 golpes.
9. Nivelar la superficie del recipiente con la utilización de la varilla de compactación.
10. Registrar la masa del recipiente metálico más el agregado.
11. Repetir la colocación de material en el recipiente dos veces más por cada ensayo hasta la toma de masas del recipiente + árido.
12. Tabular las masas calculando el promedio de las masas unitarias compactadas.
13. Calcular y tabular la masa del árido compactada.
14. Calcular la masa unitaria compactada del árido.



Figura 7: Ejecución del MUC del agregado grueso

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.

Flor C. Pérez G.

2.4.2.10 Análisis Granulométrico del Árido Grueso

Este método de ensayo está basado en la norma ASTM C 136-71 y en la norma INEN 692: 2011, este método de ensayo se utiliza para determinar las cantidades en las que están presentes partículas de ciertos tamaños en el agregado. La distribución del agregado según su tamaño se determina mediante el empleo de cibras estándar.

Equipos y materiales

- Balanza
- Tamices
- Recipientes
- Brocha
- Tamizadora.



Figura 8: Tamizadora con serie de tamices para áridos gruesos

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Procedimiento

1. Secar la muestra hasta masa constante a temperatura $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
2. Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayar.
3. Ubicamos los tamices en forma descendente.
4. Colocamos la serie de tamices en la tamizadora, procedemos a colocar el árido grueso y encendemos la tamizadora.
5. Concluido el tiempo de tamizado, procedemos a tomar el material retenido en cada uno de los tamices.
6. Tabulamos los resultados y obtenemos la curva granulométrica.

2.4.2.11 Determinación del Peso Específico del Cemento.

Este ensayo está basado en la norma ASTM C 188 – 09 en el cual se establece el procedimiento que se adoptará para la determinación del peso específico de los cementos y consiste en establecer la relación entre una masa de cemento (g) y el

volumen (cm³).

Equipo y Materiales

- Balanza sensibilidad: 0,10 g
- Frasco de lechatelier de 100 cm³
- Gasolina
- Embudo
- Pipetas



Figura 9.- Instrumental de ensayo (peso específico cemento)

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Procedimiento

1. Encerar y calibrar la balanza.
2. Colocar la gasolina en la medida entre 0 y 1 cm³ en frasco de lechatelier a una temperatura de 22 °C ±2°C.
3. Pesar 64 g de cemento y colocar dentro del frasco de lechatelier con la ayuda de un embudo.
4. Agitar el frasco de lechatelier con movimientos circulares continuos para sacar las burbujas de aire contenidas dentro del cemento.
5. Una vez sacadas las burbujas de aire registrar el volumen de gasolina + cemento, para esto la temperatura de la gasolina debe estar a 22°C ± 2°C.

6. Tabular y calcular la variación de volumen del cemento contenida en el picnómetro.

2.4.2.12 Determinación de la Masa Unitaria Suelta del Cemento

Este ensayo se basa en el procedimiento de la norma INEN 858 en la cual se establece la normativa que se deberá aplicar para la determinación de la masa unitaria suelta del agregado fino (*MUS*). Cabe recalcar que no existe una norma que condicione el procedimiento para determinar la masa unitaria suelta del cemento y se acopla a la norma INEN 858 para determinar el *MUS* del árido fino.

Equipo y Materiales

- Balanza
- Recipientes cilíndricos metálicos.
- Varilla lisa de compactación.
- Pipetas.
- Agua
- Placa de vidrio.
- Recolector



Figura 10: Determinación de la masa de cemento

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Procedimiento

1. Aforar el recipiente metálico con agua y colocar una placa de vidrio, para evitar el exceso de agua y eliminar las burbujas de aire.
2. Registrar la masa del recipiente metálico + agua.
3. Calcular el volumen del recipiente.
4. Retirar el agua del recipiente metálico y secarlo.
5. Llenar el recipiente con cemento, en forma lenta y progresiva.
6. Nivelar la superficie del recipiente con la utilización de la varilla de compactación.
7. Registrar la masa del recipiente metálico más el cemento.
8. Repetir la colocación del cemento en el recipiente dos veces más por cada ensayo hasta la toma de masas del recipiente + árido.
9. Tabular las masas calculando el promedio de las masas unitarias sueltas.
10. Calcular y tabular la masa suelta del cemento.
11. Calcular la masa unitaria suelta del cemento.

2.4.3 Procedimiento de diseño de mezclas de concretos de alta resistencia

El método propuesto por el comité 211.4 del ACI abarca el rango de resistencia entre 450 kg/cm² y 840 kg/cm², este método es aplicable a concretos de peso normal. Las consideraciones básicas de este método al igual que en el método para concretos convencionales es la determinación de la cantidad de los materiales requeridos para producir un concreto con las propiedades en estado fresco y endurecido deseadas y a un bajo costo. El procedimiento consiste en una serie de pasos, con los cuales se debe cumplir los requerimientos de resistencia y trabajabilidad deseados, el método recomienda elaborar varias pruebas en laboratorio y en el campo hasta encontrar la mezcla deseada.

El método ACI 211.4 divide al procedimiento en los siguientes pasos:

1.- Seleccionar el asentamiento y la resistencia del concreto requeridos, valores recomendados para el asentamiento se muestran en la tabla 9. A pesar que un concreto de alta resistencia es producido exitosamente con la adición de un superplastificante sin una medida inicial del asentamiento, es recomendado un asentamiento de 1 a 2” antes de adicionar el superplastificante. Esto asegurará una adecuada cantidad de agua para la mezcla y permitirá que el superplastificante sea efectivo.

Para un concreto elaborado sin superplastificante es recomendado un asentamiento entre 2 a 4”, este puede ser escogido de acuerdo al trabajo a realizarse. Concretos con menos de 2” de asentamiento son difíciles de consolidar dado el alto contenido de agregado grueso y materiales cementicios.

Tabla 9: Slump (asentamiento) recomendado para concretos de Alta Resistencia con y sin superplastificante

Slump con SP	Slump sin SP
1”-2”	2”-4”

Antes de la adición del SP

2.- Seleccionar el tamaño máximo del agregado, basados en los requerimientos de

resistencia, el tamaño máximo del agregado grueso es dado en la tabla 10. El ACI 318 establece que el tamaño máximo de un agregado no debe exceder un quinta parte de la dimensión menor entre los lados del elemento, una tercera parte de la profundidad de la losa, o tres cuartas partes del mínimo espaciamiento entre las barras de refuerzo.

Tabla 10: Tamaño máximo del agregado grueso

Resistencia Requerida del concreto kg/cm ²	Tamaño Máximo del agregado
< 630	3/4"-1"
> 630	3/8"-1/2"

3.- Seleccionar el contenido óptimo de agregado grueso, el óptimo contenido de agregado grueso depende su resistencia característica y tamaño máximo. El contenido óptimo recomendado de agregado grueso, expresado como una fracción del peso unitario compactado, es dado en la tabla 11 como una función del tamaño máximo nominal.

El peso seco del agregado grueso por m³ de concreto puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$W_{\text{seco}} = \%Vol * MUC$$

En un proporcionamiento de una mezcla de concreto normal, el contenido óptimo de agregado grueso es dado como una función del tamaño máximo y del módulo de fineza del agregado fino. Las mezclas de concretos de alta resistencia, sin embargo, tienen un alto contenido de materiales cementicios, y por lo tanto no son dependientes del agregado fino para lograr la lubricación y compactibilidad de la mezcla. Por supuesto los valores dados en la tabla 11 son recomendados para arenas que tienen un módulo de finura entre 2,5 a 3,2.

Tabla 11: Volumen de Agregado Grueso por unidad de volumen de concreto (para agregado fino con módulo de finura entre 2.5-3.2)

Tamaño nominal máximo	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Fracción Volumétrica Psag	0.65	0.68	0.72	0.75

4.- Estimar el agua de mezcla y el contenido de aire, la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir un asentamiento dado es dependiente del tamaño máximo, forma de las partículas, gradación del agregado, cantidad de cemento y tipo de plastificante o superplastificante usados. Si se usa un superplastificante, el contenido de agua en este aditivo es tomado en cuenta para el cálculo de la relación agua/cemento: La tabla 12 da una primera estimación del agua de mezclado requerida para concretos elaborados con agregados de tamaño máximo entre 1" y 3/8", esta cantidad de agua es estimada sin la adición del aditivo, en la misma tabla también se da los valores estimado de aire atrapado. Estas cantidades de agua de mezclado son máximas para un agregado bien gradado, angular y limpio que cumple con los límites de la norma ASTM C 33. Dado que la forma de las partículas y la textura superficial del agregado fino puede influenciar significativamente su contenido de vacíos, el requerimiento de agua de mezclado puede ser diferente de los valores dados.

Los valores dados en la tabla 12 son aplicables cuando el agregado fino usado tiene un contenido de vacíos igual a 35%, el contenido de vacíos del agregado fino puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de Vacíos, \%V} = \left(1 - \frac{MUC_{A.Fino}}{P.E._{A.Fino}} \right) * 100$$

Usando la ecuación anterior obtenemos un ajuste de 4,72 kg/m³ por cada punto porcentual del contenido de vacíos de la arena.

Tabla 12: Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire del concreto

Slump	Agua de mezclado en kg/m ³ para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1" – 2"	183	174	168	165
2" – 3"	189	183	174	171
3" – 4"	195	189	180	177
Aire Atrapado				
Sin Superplastificante	3	2,5	2	1,5
Con Superplastificante	2,5	2	1,5	1

5.- Seleccionar la relación agua/materiales cementicios, en las tablas 13 y 14, valores máximos recomendados para la relación agua/materiales cementicios son mostrados como una función del tamaño máximo del agregado para alcanzar diferentes resistencias a compresión en 28 o 56 días. Los valores dados en la tabla 13 son para concretos elaborados sin superplastificantes y los dados en la tabla 14 para concretos con superplastificante.

La relación agua/materiales cementicios puede limitarse por requerimientos de durabilidad. Cuando el contenido de material cementicio excede los 450 kg, se debe considerar el uso de un material cementicio alternativo.

Tabla 13: Relación agua/material cementicios para concretos sin superplastificante

Resistencia promedio f'_{cr} * kg/cm ²	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0,41	0,40	0,39	0,38
	56	0,44	0,43	0,42	0,42
550	28	0,36	0,35	0,34	0,34
	56	0,39	0,38	0,37	0,36
600	28	0,32	0,31	0,31	0,30
	56	0,35	0,34	0,33	0,32

650	28	0,29	0,28	0,28	0,27
	56	0,32	0,31	0,30	0,29
700	28	0,26	0,26	0,25	0,25
	56	0,29	0,28	0,27	0,26

* La resistencia promedio deberá ser reajustada para usar esta tabla con un valor de 0,9

Tabla 14: Relación agua/material cementicios para concretos con superplastificante

Resistencia promedio f'_{cr} * kg/cm ²	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0,49	0,47	0,45	0,42
	56	0,54	0,51	0,47	0,45
550	28	0,44	0,42	0,40	0,39
	56	0,49	0,46	0,43	0,41
600	28	0,40	0,38	0,36	0,35
	56	0,44	0,41	0,39	0,37
650	28	0,36	0,35	0,33	0,32
	56	0,40	0,38	0,36	0,34
700	28	0,33	0,32	0,31	0,30
	56	0,37	0,35	0,33	0,32
750	28	0,31	0,30	0,28	0,28
	56	0,34	0,32	0,30	0,30
800	28	0,29	0,28	0,26	0,26
	56	0,32	0,30	0,28	0,28
850	28	0,27	0,26	0,25	0,25
	56	0,30	0,28	0,27	0,26

* La resistencia promedio deberá ser reajustada para usar esta tabla con un valor de 0,9

6.- Cálculo del contenido de material cementicio, el peso del material cementicio requerido por m³ de concreto puede ser determinado por la división de la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/m.c. seleccionada. Sin embargo si las especificaciones incluyen un límite mínimo en la cantidad de material cementicio por

m³, este debe ser cumplido.

7.- Proporciónamiento de la mezcla de prueba base, para determinar las proporciones óptimas primero se debe realizar una mezcla base, los siguientes pasos deben ser seguidos para completar la mezcla:

1. Contenido de cemento.- Para esta mezcla, el peso del cemento será igual al calculado en el paso 6.
2. Contenido de arena.- Después de determinar los pesos por m³ de agregado grueso, cemento, agua, y contenido de aire atrapado, el contenido de arena puede ser calculado usando el método de volúmenes absolutos.

8.- Proporciónamiento de mezclas usando fly ash, este método incluye el uso de fly ash como adición al concreto, la adición de este reducirá la demanda de agua, reduce la temperatura, y reduce el costo. Este paso se describe la manera de adicionar al concreto este material y los pasos para su proporciónamiento, recomendando al menos dos pruebas con diferentes contenidos de este material.

9.- Mezclas de prueba, para cada mezcla el proporciónamiento se hará siguiendo los pasos del 1 al 8, una mezcla de prueba debe ser producida determinando su trabajabilidad y características de resistencia.

10.- Ajuste de las proporciones de la mezcla, si las propiedades deseadas del concreto no han sido obtenidas en las mezclas de prueba, las proporciones de la mezcla base deben ser modificadas siguiendo el procedimiento siguiente:

1. Asentamiento inicial.- Si el asentamiento inicial no se encuentra en los rangos deseados, el agua de mezclado debe ser ajustada, el contenido de cemento debe ser corregido para mantener constante la relación a/mc, y el contenido de arena debe ser ajustado para asegurar el flujo del concreto.

2. Dosis de superplastificante.- Si un superplastificante es usado, debe ser determinado su efecto en la trabajabilidad y resistencia. Se debe seguir las indicaciones dadas por el fabricante en cuanto a su tasa máxima de uso. El uso en laboratorio de superplastificantes debe ser ajustado para su uso en campo.

3. Contenido de agregado grueso.- Una vez que las mezcla de prueba de concreto han sido ajustadas para el asentamiento deseado, se debe determinar si la mezcla es demasiado áspera. Si es necesario el contenido de agregado grueso puede ser reducido y el contenido de arena ajustado. Sin embargo este incremento del contenido de arena incrementara la demanda de agua, y por lo tanto el contenido de cemento.

4. Contenido de aire.- Si el contenido de aire difiere significativamente de las proporciones deseadas, el contenido de arena puede ser ajustado.

5. Relación a/mc.- Si la resistencia requerida no es alcanzada, mezclas adicionales con una menor relación a/mc deben ser elaboradas.

11.- Selección de la mezcla óptima, una vez que las proporciones de mezcla han sido ajustadas para producir la trabajabilidad y resistencia deseadas, es necesario realizar pruebas en las condiciones de campo de acuerdo a los procedimientos recomendados por el ACI 211.1.

2.4.4 Cálculo experimental del diseño de las mezclas de concreto de alta resistencia

Se presenta el cálculo experimental del diseño de las mezclas de concreto de alta resistencia en donde se definen los pasos en los que ha sido dividido el procedimiento de diseño, dichos pasos se han establecido según el procedimiento proporcionado por el comité ACI 211.4.

Partiendo de un diseño patrón con una resistencia establecida de 500 kg/cm^2 se variara la cantidad de microsílíce en porcentajes del 3, 5, 7, 9 y 10% para luego hallar su resistencia a compresión a los 28 días, las proporciones con diferentes contenidos de microsílíce serán denominadas cada una por su proporción correlativa (M3%, M5%, M7%, M9%, M10%), el trabajo experimental de laboratorio consistirá en elaborar 5 mezclas resultantes de la aplicación de 5 diferentes tasas de dosificación de aditivo y microsílíce para cada una de estas mezclas.

Los componentes de cada una de las mezclas (agregados, agua, cemento) poseen las mismas propiedades físicas en cada una de las mezclas, de este modo, la variable a tomar en cuenta en la investigación será únicamente la variación de la tasa de dosificación del superplastificante y la microsílíce.

Las dosificaciones de superplastificante a utilizarse para elaborar las mezclas serán del 1% adicionando 0,2% hasta llegar al 2% de superplastificante por cada kilogramo de cemento, hasta obtener un asentamiento deseado.

La dosificación de microsílíce se irá variando desde el 3 al 10% por cada kilogramo de cemento. Después se realizara el cálculo teórico experimental del diseño de cada mezcla y así, elaborar el diseño definitivo.

Cada una de las mezclas a realizar será inspeccionada, por medio de la recolección de información de los proporcionamientos de cada uno de los materiales que la constituyen; para cada una de las mezclas en estado fresco se medirán los parámetros de, asentamiento del concreto de cada mezcla para controlar su trabajabilidad (ASTM C-143 y para el concreto endurecido se estudiará la resistencia a la compresión en cilindros (ASTM C-39).

Cada una de las mezclas se elaborara mecánicamente en una máquina concretera con una capacidad de 275 lb, para cada una de las mezclas se elaborará concreto para 6 cilindros, 3 cilindros se ensayaran a las edades de 7 días, y 3 a los 28 días de edad.

La resistencia a la compresión serán medidos en cilindros de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, todos los especímenes serán curados según lo establece la norma ASTM C-192 hasta el día de su ensayo.

A continuación se detalla el cálculo realizado para la dosificación de las mezclas:

Tabla 15: Datos de los materiales que intervienen en la obtención de un Concreto de Alta Resistencia

DATOS:				
AGREGADO FINO				
MÓDULO DE FINURA	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	M.U.C (g/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)
3,02	2,3	1,81	4,83	3,44
AGREGADO GRUESO				
TAMAÑO MÁXIMO PARTICULA (Plg)	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	M.U.C (g/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)
1	2,51	1,48	1,09	2,2
P.E CEMENTO (g/cm ³)	P.E MICROSILICE ⁵ (Kg/m ³)	ASENTAMIENTO (plg)	f'c (Kg/cm ²)	
3,2	700	8	500	

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.

Flor C. Pérez G.

1.- Dado el uso de un superplastificante escogemos un slump de 1-2" (tabla 9), además por la no existencia de registro de pruebas anteriores calculamos la resistencia promedio del concreto a los 28 días.

$$f'_{cr} = \frac{f'c + 98}{0,9}$$

⁵ ESPOL, Tesis "Correlaciones entre ensayos destructivos y no destructivos para hormigones de alta resistencia con agregados calcáreos." 2009

$$f'_{cr} = \frac{500 + 98}{0,9}$$

$$f'_{cr} = 664,444 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

2.- De la tabla 11 obtenemos el volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto = 0,75, calculamos el peso seco del agregado grueso/m³ de concreto:

$$W_{\text{seco}} = \%Vol * MUC$$

$$W_{\text{seco}} = 0,75 * (1,48 * 1000)$$

$$W_{\text{seco}} = 1110 \text{ kg}$$

3.- De la Tabla 12, la primera estimación del agua de mezclado requerida es 165 kg/m³ de concreto y el contenido de aire es de 1 %. Calculamos el contenido de arena:

$$\text{Contenido de Vacios, \%V} = \left(1 - \frac{MUC_{A.Fino}}{P.E._{A.Fino}} \right) * 100$$

$$\text{Contenido de Vacios, \%V} = \left(1 - \frac{1,81 \text{ g} / \text{cm}^3}{2,3 \text{ g} / \text{cm}^3} \right) * 100$$

$$\text{Contenido de Vacios, \%V} = 21,30$$

4.- De la Tabla 14, obtenemos el valor de la relación a/cm, la resistencia promedio debe ser ajustada previamente para utilizar las tabla 14.

$$f'_{cr} = 0,90 * 664,44 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$f'_{cr} = 598 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

Obtenemos de la tabla 14 para agregado de 1”:

Relacion $a / mc = 0,352 \rightarrow$ por interpalación

5.- Calculo del contenido de materiales cementicios:

Conocemos en contenido de agua, 165kg.

$$mc = 165 / 0,352$$

$$mc = 468,75kg$$

6.- Proporciones básicas para mezcla solo con cemento:

Las proporciones de todos los materiales por m^3 excepto la arena es la siguiente:

Tabla 16: Proporción de los materiales

Proporciones de los materiales por m^3		
Cemento=	0,146	m^3
Agregado grueso=	0,442	m^3
Agua=	0,165	m^3
Aire=	0,010	m^3
TOTAL=	0,764	m^3
Agregado fino=	0,236	m^3

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

La cantidad de agregado fino por m^3 será:

$$Ag.Fino = (0,236) * P.E$$

$$Ag.Fino = (0,236) * (2,3 * 1000)$$

$$Ag.Fino = 543,45kg$$

Tabla 17: Proporción de la mezcla en peso

Proporciones de la mezcla en peso		
Cemento=	468,75	kg/m^3
Agregado fino=	543,454	kg/m^3
Agregado grueso=	1110,000	kg/m^3
Agua=	165,000	kg/m^3
Total=	2287,204	kg/m^3

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.

7.- Proporción de mezcla usando cemento y microsílíce:

En base a la recomendación de la hoja técnica de Sika-Fume (Anexo A) el porcentaje de microsílíce va del 3% al 10%. Usamos 4 mezclas de prueba con contenidos de 3, 5, 7, 9 y 10%.

Tabla 18: Proporción de la mezcla usando cemento y microsílíce

N° de Prueba	Microsílíce (%)	Cemento (kg)	Microsílíce (kg)
1	3	454,69	14,06
2	5	445,31	23,44
3	7	435,94	32,81
4	9	426,56	42,19
5	10	421,88	46,88

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Las proporciones de todos los materiales por m³ excepto la arena es la siguiente:

Tabla 19: Proporción de los materiales por m³

N° de Prueba	Cemento (m ³)	Microsílíce (m ³)	Agregado grueso (m ³)	Agua (m ³)	Aire (m ³)	Total (m ³)
1	0,142	0,020	0,442	0,165	0,01	0,779
2	0,139	0,033	0,442	0,165	0,01	0,790
3	0,136	0,047	0,442	0,165	0,01	0,800
4	0,133	0,060	0,442	0,165	0,01	0,811
5	0,132	0,067	0,442	0,165	0,01	0,816

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

El volumen de agregado fino será:

Tabla 20: Volumen del agregado fino por m³

N° de Prueba	Total (m ³)	Agregado Fino (m ³)
1	0,779	0,221
2	0,790	0,210
3	0,800	0,200
4	0,811	0,189
5	0,816	0,184

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 21: Proporción de la mezcla en peso

N° de Prueba	kg/m ³					
	Cemento	Microsílice	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agua	Total
1	454,69	14,06	1110,00	507,36	165,00	2251,11
2	445,31	23,44	1110,00	483,29	165,00	2227,04
3	435,94	32,81	1110,00	459,23	165,00	2202,98
4	426,56	42,19	1110,00	435,16	165,00	2178,91
5	421,88	46,88	1110,00	423,13	165,00	2166,88
6	468,75	0	1110,00	543,45	165,00	2287,20

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

8.- Ajuste por el contenido de agua en los agregados:

Contenido de Humedad Ag. Grueso= 1,09%

Contenido de Humedad Ag. Fino= 4,83%

Corregimos el contenido de agregado considerando su contenido de humedad, para la mezcla con solo cemento tendremos:

Ag. Grueso Corregido= 1110 * (1 + 0,0109)

$$= 1122,099kg$$

Ag. Fino Corregido= 543,45 * (1 + 0,0483)

$$= 569,703kg$$

Corregimos el agua de mezclado tomando en cuenta la absorción de los agregados:

Agua de mezclado corregida = agua de mezclado-peso Ag. Fino*(%Humedad-%Absorción)-
 peso A. Grueso*(%Humedad-% Absorción))

$$\text{Agua Corregida} = 165 - 543,45 * (0,0483 - 0,0344) - 1110 * (0,0109 - 0,022)$$

$$\text{Agua Corregida} = 169,767\text{kg}$$

Tabla 22: Pesos corregidos de los materiales

N° de Prueba	kg/m ³					
	Cemento	microsílice	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agua	Total
1	468,75	0,00	1122,10	569,70	169,77	2330,32
2	454,69	14,06	1122,10	485,31	169,77	2245,92
3	445,31	23,44	1122,10	461,24	169,77	2221,86
4	435,94	32,81	1122,10	437,18	169,77	2197,79
5	426,56	42,19	1122,10	413,11	169,77	2173,73
6	421,88	46,88	1122,10	401,08	169,77	2161,69

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
 Flor C. Pérez G.

Tabla 23: Datos de los moldes cilíndricos

Volumen del cilindro=	0,0053	m3
# de cilindros=	6	
Metros cúbicos de concreto =	0,0318	m3
m3 a preparar=	0,04	

Tabla 24: Pesos de los materiales para elaborar la “prueba de mezclas 1”

N° de Prueba	kg						Aditivo		% micros ílice
	Cemento	microsílice	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agua	Total	%	cm ³	
1	18,75	0,000	44,88	22,79	6,79	93,21	1,0	176,89	0
2	18,19	0,563	44,88	19,41	6,79	89,84	1,3	223,05	3
3	17,81	0,938	44,88	18,45	6,79	88,87	1,3	210,05	5
4	17,44	1,313	44,88	17,49	6,79	87,91	1,3	205,63	7
5	17,06	1,688	44,88	16,52	6,79	86,95	1,3	209,26	9
6	16,88	1,875	44,88	16,04	6,79	86,47	2,0	318,40	10

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
 Flor C. Pérez G.

La “**prueba de mezclas 1**” se realizó sustituyendo la cantidad de cemento por el porcentaje de microsílíce (3%, 5%, 7%, 9%, 10%).

Mientras tanto que la “**Prueba de mezclas 2**” se realizó aumentando el porcentaje de microsílíce a la cantidad de cemento, pero tomando en consideración no alterar la relación agua/material cementante. Realizamos este cambio debido a que después de haber ensayado a compresión los cilindros de las mezclas anteriores no llegábamos a la resistencia requerida en el diseño.

Realizando todos los cálculos anteriormente descritos obtuvimos como resultado lo mostrados en la tabla 27.

Tabla 25: Pesos corregidos de los materiales

N° de Prueba	kg/m ³					
	Cemento	microsílíce	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agua	Total
2	468,75	14,06	1122,10	475,20	174,72	2254,83
3	468,75	23,44	1122,10	444,39	178,02	2236,70
4	468,75	32,81	1122,10	413,59	181,32	2218,57
5	468,75	46,88	1122,10	367,39	186,27	2191,38

Tabla 26: Datos de los moldes cilíndricos

Volumen del cilindro=	0,0053	m ³
# de cilindros=	4	
Metros cúbicos de concreto =	0,0212	m ³
m3 a preparar=	0,03	

Tabla 27: Pesos de los materiales para elaborar la “**prueba de mezclas 2**”

N° de Prueba	kg						Aditivo		% microsílíce
	Cemento	microsílíce	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agua	Total	%	cm ³	
2	14,06	0,422	33,66	14,26	5,24	67,64	1,3	172,46	3
3	14,06	0,703	33,66	13,33	5,34	67,10	1,3	172,46	5
4	14,06	0,984	33,66	12,41	5,44	66,56	1,3	172,46	7
5	14,06	1,406	33,66	11,02	5,59	65,74	1,3	172,46	10

2.4.5 Procedimiento de refrentado de especímenes cilíndricos de concreto

Esta práctica cubre los procedimientos, materiales y equipos necesarios para refrentar cilindros de concreto endurecido. (ASTM C 617)

Equipo:

- 3 Platos para refrentado
- 4 Dispositivos de alineación
- 5 Recipiente para calentar sulfuro



Figura 11: Instrumental de ensayo para refrentado

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Procedimiento:

- ✓ Preparar el mortero de sulfuro por calentamiento a 130°C (265°F) aproximadamente. Chequear la temperatura del mortero de sulfuro cada hora. El mortero de sulfuro se puede rehusar hasta cinco veces. Cuando se capea cilindros para resistencia a la compresión de 35Mpa o más, no es permitido rehusar el material de capeo.
- ✓ Comprobar que el plato de refrentado se encuentre caliente.
- ✓ Verificar que el plato de refrentado se encuentre limpio y libre de rugosidades.
- ✓ Aceitar ligeramente el plato de refrentado.
- ✓ Inmediatamente derretido el sulfuro batir antes de colocar en el plato.

- ✓ Verificar que la cara del espécimen esté libre de grasas, aceites y que no contenga exceso de humedad.
- ✓ Formar la capa de refrentado en el cilindro.
- ✓ Chequear que la capa quede correctamente pegada al espécimen y no contenga espacios vacíos. Para el chequeo se puede utilizar una moneda, para golpear la cara del espécimen que ha sido capeada, en caso de producirse un sonido hueco, la capa de refrentado deberá ser reemplazada.
- ✓ Verificar las condiciones de planeidad de la capa de sulfuro.
- ✓ Proteger el espécimen capeado de la rápida evaporación, y las pérdidas de humedad.



Figura 12: Especímenes de concreto endurecido capeado con mortero de sulfuro

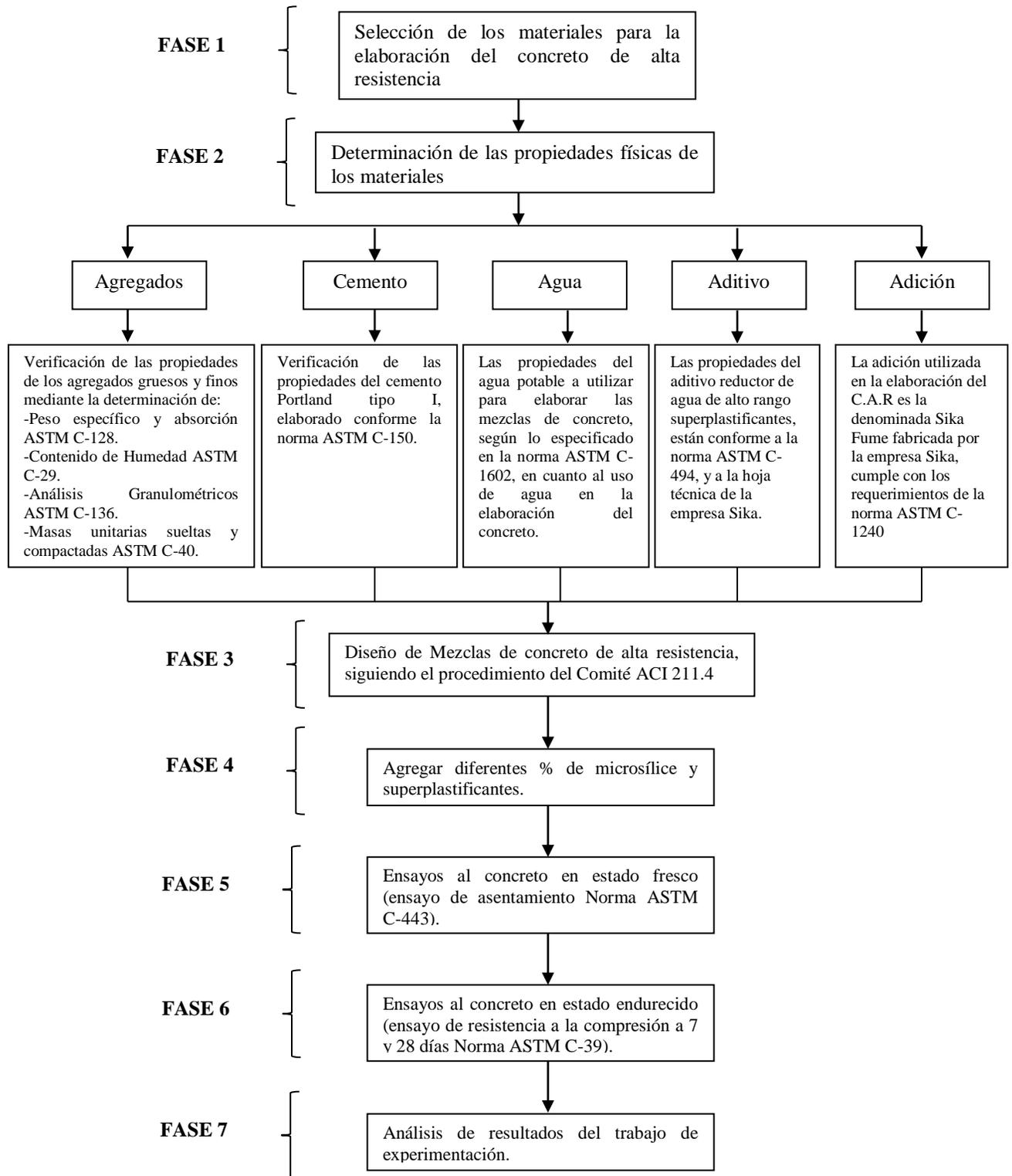
Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

2.5 PROCESAMIENTO Y ANALISIS

Para llegar al diseño final de la mezcla de concreto se procedió a dividir en fases. Los datos obtenidos detallan claramente el grado de resistencia al que se puede llegar con la adición de microsílíce y superplastificante en diferentes proporciones, obteniendo así, datos relevantes que corroboran a dar solución a la hipótesis planteada en el anteproyecto de tesis “*Al adicionar microsílíce y superplastificantes en la mezcla se podría obtener un concreto de alta resistencia para aplicar en elementos estructurales sometidos a grandes esfuerzos*”.

- FASE 1: Selección de los materiales.
- FASE 2: Determinación de las propiedades de los materiales.
- FASE 3: Diseño de una mezcla para una resistencia especificada.
- FASE 4: Adicionar superplastificante y microsílíce en diferentes porcentajes.
- FASE 5: Elaboración de mezclas, preparación de especímenes y ensayo al concreto en estado fresco.
- FASE 6: Ensayos al concreto endurecido.
- FASE 7: Análisis de resultados.

Figura 13: Secuencia del proceso de investigación



CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

Antes de realizar cualquier diseño es necesario que se conozcan ciertos parámetros que determinen las propiedades de los agregados con que se cuenta y que además se utilicen para conocer si los agregados cumplen con los requerimientos exigidos para el tipo de concreto a elaborar; es por esto que en este capítulo se presentan los resultados de los diferentes ensayos como son: contenido de humedad, peso específico, capacidad de absorción, masa unitaria suelta y compactada, análisis granulométrico de los agregados grueso y fino; peso específico y masa unitaria suelta del cemento.

3.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN LA DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Los resultados de los ensayos que se realizaron para verificar las propiedades de los materiales a utilizar para la dosificación del concreto de alta resistencia se presentan en la tabla 14.

Tabla 28: Resultados de los ensayos realizados a los materiales para el diseño de las mezclas de concreto

Ensayo de Laboratorio	Norma Usada	Resultado	Requisito	Referencia
Granulometría agregado grueso	ASTM C 136	TMP=1”	Según norma ASTM C 33	Tabla 33
Granulometría agregado fino	ASTM C 136	MF=3,02	Según norma ASTM C 33 2,9 <MF<3,10	Tabla 39
Peso específico y absorción agregado grueso	ASTM C 128	PE=2,51g/cm ³ % Abs=2,20	2,4<PE<2,90 % Abs<4%	Tabla 29 Tabla 30

Peso específico y absorción agregado fino	ASTM C 128	PE=2,30g/cm ³ % Abs=3,44	2,4<PE<2,90 % Abs<6%	Tabla 35 Tabla 36
Peso volumétrico agregado grueso (MUC)	ASTM C 29	MUC=1,48g/cm ³	1,26-1,75 g/cm ³	Tabla 32
Peso volumétrico agregado fino (MUC)	ASTM C 29	MUC=1,81g/cm ³	-----	Tabla 38
Peso específico del cemento	NTE INEN 156	PE=3,20g/cm ³	-----	Tabla 40
Propiedades microsílíce	-----	PE=700Kg/m ³	-----	Anexo A
Propiedades aditivo	-----	-----	-----	Anexo B

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Los resultados de la tabla 28 reflejan que las características de los materiales son las adecuadas para elaborar concreto de alta resistencia. A continuación se muestran los resultados de los ensayos realizados.

Tabla 29: Resultado del contenido de humedad del agregado grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES			
CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO							
FECHA:	19/02/2013			MATERIAL:	Cerro Negro		
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del árido humedo+recipiente (g)	Masa árido seco+recipiente (g)	Masa del árido húmedo (g)	Masa del árido seco (g)	Masa del agua (g)	Contenido de humedad (%)
1	496	5496	5426	5000	4930	70	1,42
2	394	5394	5335	5000	4941	59	1,19
3	494	5494	5429	5000	4935	65	1,32
4	496	5496	5433	5000	4937	63	1,28
5	544	5544	5470	5000	4926	74	1,50
6	544	5544	5473	5000	4929	71	1,44
7	495	5495	5431	5000	4936	64	1,30
8	496	5496	5444	5000	4948	52	1,05
9	394	5394	5321	5000	4927	73	1,48
10	495	5495	5432	5000	4937	63	1,28
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO							
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
1	1,42	0,09	0,009	N=	10	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	
2	1,19	-0,13	0,017	$\sum(Xi-Xm)^2=$	0,1761814		
3	1,32	-0,01	0,000	$\delta=$	0,13991		
4	1,28	-0,05	0,002				
5	1,50	0,18	0,031	FACTOR DE MAYORACIÓN K=			1,27
6	1,44	0,11	0,013				
7	1,30	-0,03	0,001	VALOR CARACTERÍSTICO			
8	1,05	-0,27	0,075	Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d			
9	1,48	0,16	0,024	Xm=	1,33	% Cont	1,09
10	1,28	-0,05	0,002	$\delta=$	0,13991	Humedad.	
Xm	1,33	$\sum(Xi-Xm)^2$	0,176	k=	1,27	(caract.)	
CONTENIDO DE HUMEDAD CARACTERÍSTICO =					1,09		%

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 30: Resultado del peso específico del agregado grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS				
PESO ESPECÍFICO AGREGADO GRUESO								
FECHA:	19/02/2013			MATERIAL:	Cerro Negro			
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del recipiente + árido en SSS (g)	Masa de la canastilla sumergida en agua (g)	Masa de la canastilla + árido sumergido (g)	Árido en SSS (g)	Árido en agua (g)	VOLUMEN DESALOJADO (cm ³)	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)
1	497	2255	656,3	1722,5	1758	1066,2	691,8	2,54
2	497	2086	656,3	1623,3	1589	967	622	2,55
3	497	2310	656,3	1766,8	1813	1110,5	702,5	2,58
4	497	2307	656,3	1754,1	1810	1097,8	712,2	2,54
5	497	2304	656,3	1748,4	1807	1092,1	714,9	2,53
6	497	1824	656,3	1458,6	1327	802,3	524,7	2,53
7	497	1814	656,3	1450,7	1317	794,4	522,6	2,52
8	497	1938	656,3	1527,9	1441	871,6	569,4	2,53
9	497	1554	656,3	1294,1	1057	637,8	419,2	2,52
10	497	2271	656,3	1734,1	1774	1077,8	696,2	2,55
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO								
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR		$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$		
1	2,54	0,00	0,00000	N=	10			
2	2,55	0,02	0,00023	$\Sigma(Xi-Xm)^2$	0,0030435			
3	2,58	0,04	0,00170	$\delta=$	0,0183894			
4	2,54	0,00	0,00000	FACTOR DE MAYORACION K=		1,27		
5	2,53	-0,01	0,00014	VALOR CARACTERÍSTICO				
6	2,53	-0,01	0,00011	Valorcaract=Xm-1,34*k*d				
7	2,52	-0,02	0,00038					
8	2,53	-0,01	0,00008					
9	2,52	-0,02	0,00033	Xm=	2,54	Peso Específico (caract.)(g/cm3)		2,51
10	2,55	0,01	0,00007	$\delta=$	0,0183894			
Xm	2,54	$\Sigma(Xi-Xm)^2$	0,0030	k=	1,27			
PESO ESPECÍFICO CARACTERÍSTICO =					2,51		(g/cm³)	

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 31: Resultado de la capacidad de absorción del agregado grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES			
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO							
FECHA:	19/02/2013			MATERIAL:	Cerro Negro		
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del recipiente+árido en SSS (g)	Masa árido seco+recipiente (g)	Masa del árido en SSS (g)	Masa del árido seco (g)	Masa del agua contenida en el árido (g)	Capacidad de absorción(%)
1	329	829	814	500	485	15	3,09
2	498	998	983	500	485	15	3,09
3	544	1044	1030	500	486	14	2,88
4	544	1044	1032	500	488	12	2,46
5	330	1127	1106	797	776	21	2,71
6	172	1002	977	830	805	25	3,11
7	329	1319	1297	990	968	22	2,27
8	328	1177	1158	849	830	19	2,29
9	496	1519	1492	1023	996	27	2,71
10	494	1394	1369	900	875	25	2,86
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO							
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
1	3,09	0,35	0,11978	N=	10	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	
2	3,09	0,35	0,11978	$\sum(Xi-Xm)^2$	0,9181772		
3	2,88	0,13	0,01795	$\delta=$	0,31941		
4	2,46	-0,29	0,08276				
5	2,71	-0,04	0,00164	FACTOR DE MAYORACIÓN K=			1,27
6	3,11	0,36	0,12881	VALOR CARACTERÍSTICO			
7	2,27	-0,47	0,22464	Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d			
8	2,29	-0,46	0,20934				
9	2,71	-0,04	0,00128	Xm=	2,75	% ABS. (caract.)	2,20
10	2,86	0,11	0,01220	$\delta=$	0,31941		
Xm=	2,75	$\sum(Xi-Xm)^2=$	0,91818	k=	1,27		
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN CARACTERÍSTICA=					2,20		%

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 32: Resultado de la masa unitaria suelta del agregado grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS						
MASA UNITARIA SUELTA AGREGADO GRUESO										
FECHA:		19/02/2013			MATERIAL:		Cerro Negro			
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del recipiente + agua (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Masa del árido suelto + recipiente (g)				Masa árido suelto (g)	MUS (g/cm ³)	
				1	2	3	Promedio			
1	8176	22450	14274	27079	27306	26490	26958,54	18782,54	1,32	
2	8176	22450	14274	27578	26807	26943	27109,74	18933,74	1,33	
3	8176	22450	14274	26581	26762	26717	26686,38	18510,38	1,30	
4	8176	22450	14274	27261	26943	26762	26988,78	18812,78	1,32	
5	8176	22450	14274	27306	27261	26898	27155,10	18979,10	1,33	
6	8176	22450	14274	27034	27352	27578	27321,41	19145,41	1,34	
7	8176	22450	14274	26943	26671	27306	26973,66	18797,66	1,32	
8	8176	22450	14274	27533	26989	27306	27276,05	19100,05	1,34	
9	8176	22450	14274	27442	26671	27261	27124,86	18948,86	1,33	
10	8176	22450	14274	27442	27352	27125	27306,29	19130,29	1,34	
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO										
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR						
1	1,32	-0,01	0,000085	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	N=	10				
2	1,33	0,00	0,000002		$\sum(Xi-Xm)^2$	0,0016921				
3	1,30	-0,03	0,000800		$\delta=$	0,0137118				
4	1,32	-0,01	0,000050		FACTOR DE MAYORACIÓN K=		1,27			
5	1,33	0,00	0,000021		VALOR CARACTERÍSTICO					
6	1,34	0,02	0,000263		Valorcaract=Xm-1,34*k*d					
7	1,32	-0,01	0,000067		Xm=	1,33	MUS (caract.) (g/cm ³)		1,30	
8	1,34	0,01	0,000170		$\delta=$	0,014				
9	1,33	0,00	0,000006		k=	1,27				
10	1,34	0,02	0,000229							
Xm=	1,33	$\sum(Xi-Xm)^2=$	0,001692							
MASA UNITARIA SUELTA CARACTERÍSTICA =					1,30		g/cm ³			

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 33: Resultado de la masa unitaria compactada del agregado grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS						
MASA UNITARIA COMPACTADA AGREGADO GRUESO										
FECHA:		19/02/2013			MATERIAL:		Cerro Negro			
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del recipiente+agua (g)	Volumen del recipiente (cm3)	Masa del árido compactado + recipiente (g)				Masa árido compactado (g)	MUC(g/cm ³)	
				1	2	3	Promedio			
1	8176	22450	14274	28700	29200	29100	29000,00	20824,00	1,46	
2	8176	22450	14274	29000	28900	29250	29050,00	20874,00	1,46	
3	8176	22450	14274	29800	29350	29850	29666,67	21490,67	1,51	
4	8176	22450	14274	29500	29100	29350	29316,67	21140,67	1,48	
5	8176	22450	14274	29050	29400	29600	29350,00	21174,00	1,48	
6	8176	22450	14274	29300	29150	29400	29283,33	21107,33	1,48	
7	8176	22450	14274	29500	29200	29050	29250,00	21074,00	1,48	
8	8176	22450	14274	29400	29150	28900	29150,00	20974,00	1,47	
9	8176	22450	14274	29250	29000	29500	29250,00	21074,00	1,48	
10	8176	22450	14274	29950	28750	29250	29316,67	21140,67	1,48	
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO										
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR						
1	1,459	-0,02	0,0003403	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	N=	10				
2	1,462	-0,01	0,0002234		$\sum(Xi-Xm)^2$	0,000000				
3	1,506	0,03	0,0007984		$\delta=$	0,000000				
4	1,481	0,00	0,0000140		FACTOR DE MAYORACIÓN K=		1,27			
5	1,483	0,01	0,0000369		VALOR CARACTERÍSTICO					
6	1,479	0,00	0,0000020		Valorcaract=Xm-1,34*k*d					
7	1,476	0,00	0,0000009		Xm=	1,48	MUS (caract.) (g/cm ³)			
8	1,469	-0,01	0,0000630		$\delta=$	0,00				
9	1,476	0,00	0,0000009		k=	1,27				
10	1,481	0,00	0,0000140							
Xm=	1,48	$\sum(Xi-Xm)^2=$	0,00000							
MASA UNITARIA COMPACTADA CARACTERÍSTICA=					1,48		g/cm ³			

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 34: Resultado del análisis granulométrico del agregado grueso

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO						
FECHA:	19/02/2013		MATERIAL:	Cerro Negro		
Masa Total=	9000	g				
TAMIZ	MASA RETENIDA PARCIAL (g)	PORCENTAJES			LÍMITES GRANULOMÉTRICOS	
		RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA %	SUPERIOR %	INFERIOR %
2	0	0	0	100	100	100
1 1/2	143	2	2	98	100	95
1	2127	24	25	75	85	65
3/4	1874	21	46	54	70	35
1/2	2809	31	77	23	50	20
3/8	1100	12	89	11	30	10
N.- 4	770	9	98	2	20	0
N.- 8	48	1	99	1	6	0
N.- 16	14	0	99	1		
N.- 30	10	0	99	1		
BANDEJA	105	1	100	0		
	9000	100				
Curva Granulométrica						
RESULTADOS						
TM=	TNM= 1"		MF= 6			
TM= TAMAÑO MÁXIMO (Abertura de menor tamiz por el cual pasa el 100% del agregado) TNM= TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (Abertura del tamiz cuyo porcentaje retenido acumulado mayor o igual al 15 %) MF= MÓDULO DE FINURA (Suma de porcentajes retenidos acumulados hasta el tamiz N.- 100 dividido para 100)						
NORMAS Y ESPECIFICACIONES						
INEN 694	INEN 695	INEN 873				

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 35: Resultado del contenido de humedad del agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES			
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO							
FECHA:	19/02/2013			MATERIAL:	Arena Rio Chambo-Penipe		
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del árido humedo+recipiente (g)	Masa árido seco+recipiente (g)	Masa del árido húmedo (g)	Masa del árido seco (g)	Masa del agua (g)	Contenido de humedad (%)
1	173	2173	2077	2000	1904	96	5,04
2	338	2338	2241	2000	1903	97	5,10
3	329	2329	2231	2000	1902	98	5,15
4	330	2330	2232	2000	1902	98	5,15
5	329	2329	2233	2000	1904	96	5,04
6	497	2497	2399	2000	1902	98	5,15
7	173	2173	2079	2000	1906	94	4,93
8	339	2339	2235	2000	1896	104	5,49
9	330	2330	2231	2000	1901	99	5,21
10	328	2328	2235	2000	1907	93	4,88
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO							
ENSAYO	X_i	$X_i - X_m$	$(X_i - X_m)^2$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
1	5,04	-0,07	0,0052	N=	10	$\delta = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	
2	5,10	-0,02	0,0003	$\sum (X_i - X_m)^2$	0,251171		
3	5,15	0,04	0,0015	$\delta =$	0,16706		
4	5,15	0,04	0,0015				
5	5,04	-0,07	0,0052	FACTOR DE MAYORACIÓN K=			1,27
6	5,15	0,04	0,0015				
7	4,93	-0,18	0,0332	VALOR CARACTERISTICO			
8	5,49	0,37	0,1378	Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d			
9	5,21	0,09	0,0088	Xm=	5,11	% Cont	4,83
10	4,88	-0,24	0,0563	$\delta =$	0,167	Humedad.	
Xm	5,11	$\sum (X_i - X_m)^2$	0,2512	k=	1,27	(caract.)	
CONTENIDO DE HUMEDAD CARACTERÍSTICO =					4,83		%

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 36: Resultado del peso específico del agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO							
FECHA:	19/02/2013			MATERIAL:	Arena Rio Chambo-Penipe		
Masa medida en gramos (g)						VOLUMEN DESALOJADO (cm ³)	PESO ESPECIFICO (g/cm ³)
MUESTRA	PICNÓMETRO	PICNÓMETRO+ÁRIDO SSS	PICNÓMETRO + ÁRIDO SSS + AGUA	PICNÓMETRO CALIBRADO	ÁRIDO EN SSS		
1	496	796	1180	987	300	107	2,80
2	496	897	1240	987	401	148	2,71
3	496	838	1190	987	342	139	2,46
4	496	965	1271	987	469	185	2,54
5	496	844	1207	987	348	128	2,72
6	496	896	1242	987	400	145	2,76
7	496	796	1182	987	300	105	2,86
8	496	970	1272	992	474	194	2,44
9	496	927	1252	992	431	171	2,52
10	496	848	1191	992	352	153	2,30
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO							
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
1	2,80	0,19	0,0372	N=	10	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	
2	2,71	0,10	0,0097	$\sum(Xi-Xm)^2$	0,30		
3	2,46	-0,15	0,0226	$\delta=$	0,18315		
4	2,54	-0,08	0,0057				
5	2,72	0,11	0,0117	FACTOR DE MAYORACIÓN K=			1,27
6	2,76	0,15	0,0219				
7	2,86	0,25	0,0607	VALOR CARACTERÍSTICO			
8	2,44	-0,17	0,0280	Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d			
9	2,52	-0,09	0,0082	Xm=	2,61	Peso Especifico (caract.)(g/cm ³)	2,30
10	2,30	-0,31	0,0962	$\delta=$	0,18315		
Xm	2,61	$\sum(Xi-Xm)^2$	0,30	k=	1,27		
PESO ESPECÍFICO CARACTERÍSTICO =					2,30		(g/cm³)

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 37: Resultado de la capacidad de absorción del agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO							
FECHA:	19/02/2013			MATERIAL:	Arena Rio Chambo - Penipe		
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del recipiente+árido en SSS (g)	Masa árido seco+recipiente (g)	Masa del árido en SSS (g)	Masa del árido seco (g)	Masa del agua contenida en el árido (g)	Capacidad de absorción (%)
1	486	759	746	273	260	13	5,00
2	457	867	847	410	390	20	5,13
3	610	1039	1019	429	409	20	4,89
4	726	1645	1605	919	879	40	4,55
5	498	936	919	438	421	17	4,04
6	299	752	733	453	434	19	4,38
7	395	947	924	552	529	23	4,35
8	486	750	732	264	246	18	7,32
9	457	850	830	393	373	20	5,36
10	610	1040	1020	430	410	20	4,88
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO							
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
1	5,00	0,01	0,000	N=	10	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	
2	5,13	0,14	0,02	$\sum(Xi-Xm)^2$	7,48175215		
3	4,89	-0,10	0,00980	$\delta=$	0,91176		
4	4,55	-0,44	0,19213				
5	4,04	-0,95	0,90431	FACTOR DE MAYORACIÓN K=			1,27
6	4,38	-0,61	0,37341	VALOR CARACTERÍSTICO			
7	4,35	-0,64	0,41105	Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d			
8	7,32	2,33	5,42013	Xm=	4,99	% ABS. (caract.)	3,44
9	5,36	0,37	0,13911	$\delta=$	0,91176		
10	4,88	-0,11	0,01230	k=	1,27		
Xm=	4,99	$\sum(Xi-Xm)^2=$	7,48175				
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN CARACTERÍSTICA=					3,44		%

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 38: Resultado de la masa unitaria suelta del agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS						
MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO FINO										
FECHA:		19/02/2013			MATERIAL:		Arena Rio Chambo - Penipe			
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del recipiente + agua (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Masa del árido suelto + recipiente (g)				Masa árido suelto (g)	MUS (g/cm ³)	
				1	2	3	Promedio			
1	3158	6115	2957	8167	8218	8183	8189,33	5031,33	1,70	
2	3158	6115	2957	8261	8237	8228	8242,00	5084,00	1,72	
3	3158	6115	2957	8192	8219	8166	8192,33	5034,33	1,70	
4	3158	6115	2957	8247	8234	8238	8239,67	5081,67	1,72	
5	3158	6115	2957	8278	8244	8239	8253,67	5095,67	1,72	
6	3158	6115	2957	8278	8213	8192	8227,67	5069,67	1,71	
7	3158	6115	2957	8283	8225	8286	8264,67	5106,67	1,73	
8	3158	6115	2957	8255	8240	8183	8226,00	5068,00	1,71	
9	3158	6115	2957	8210	8206	8265	8227,00	5069,00	1,71	
10	3158	6115	2957	8226	8252	8253	8243,67	5085,67	1,72	
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO										
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR						
1	1,70	-0,01	0,00019	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	N=	10				
2	1,72	0,00	0,00001		$\sum(Xi-Xm)^2$	0,00				
3	1,70	-0,01	0,00017		$\delta=$	0,008195				
4	1,72	0,00	0,00001		FACTOR DE MAYORACIÓN K=		1,27			
5	1,72	0,01	0,00006		VALOR CARACTERÍSTICO					
6	1,71	0,00	0,00000		Valorcaract=Xm-1,34*k*d					
7	1,73	0,01	0,00013		Xm=	1,72	MUS (caract.) (g/cm ³)		1,70	
8	1,71	0,00	0,00000		$\delta=$	0,008				
9	1,71	0,00	0,00000		k=	1,27				
10	1,72	0,00	0,00002		Xm=		1,72			
Xm=	1,72	$\sum(Xi-Xm)^2=$	0,00060	MASA UNITARIA SUELTA CARACTERÍSTICA =				1,70	g/cm ³	

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 39: Resultado de la masa unitaria compactada del agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS						
MASA UNITARIA COMPACTADA DEL AGREGADO FINO										
FECHA:		19/02/2013			MATERIAL:		Arena Rio Chambo - Penipe			
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del recipiente+agua (g)	Volumen del recipiente (cm3)	Masa del árido compactado + recipiente (g)				Masa árido compactado (g)	MUC(g/cm3)	
				1	2	3	Promedio			
1	3158	6115	2957	8584	8548	8563	8565,00	5407,00	1,83	
2	3158	6115	2957	8518	8544	8513	8525,00	5367,00	1,82	
3	3158	6115	2957	8523	8569	8530	8540,67	5382,67	1,82	
4	3158	6115	2957	8561	8547	8513	8540,33	5382,33	1,82	
5	3158	6115	2957	8527	8557	8538	8540,67	5382,67	1,82	
6	3158	6115	2957	8535	8547	8559	8547,00	5389,00	1,82	
7	3158	6115	2957	8541	8534	8534	8536,33	5378,33	1,82	
8	3158	6115	2957	8531	8569	8529	8543,00	5385,00	1,82	
9	3158	6115	2957	8534	8564	8507	8535,00	5377,00	1,82	
10	3158	6115	2957	8567	8588	8550	8568,33	5410,33	1,83	
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO										
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR						
1	1,829	0,01	0,000050	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	N=	10				
2	1,815	-0,01	0,000042		$\sum(Xi-Xm)^2$	0,0001806				
3	1,820	0,00	0,000001		$\delta=$	0,004480				
4	1,820	0,00	0,000002		FACTOR DE MAYORACIÓN K=		1,27			
5	1,820	0,00	0,000001		VALOR CARACTERÍSTICO					
6	1,822	0,00	0,000001		Valorcaract=Xm-1,34*k*d					
7	1,819	0,00	0,000007		Xm=	1,82	MUS (caract.) (g/cm ³)			
8	1,821	0,00	0,000000		$\delta=$	0,0045				
9	1,818	0,00	0,000010		k=	1,27				
10	1,830	0,01	0,000067							
Xm=	1,82	$\sum(Xi-Xm)^2=$	0,00018							
MASA UNITARIA COMPACTADA CARACTERÍSTICA =					1,81		g/cm ³			

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 40: Resultado del análisis granulométrico del agregado fino

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL			TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO						
FECHA:	19/02/2013		MATERIAL:	Arena Rio Chambo-Penipe		
Masa Total=	3000	g				
TAMIZ	MASA RETENIDA PARCIAL (g)	PORCENTAJES			LÍMITES GRANULOMETRICOS	
		RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASA %	SUPERIOR %	INFERIOR %
3/8	0	0	0	100	100	100
N.- 4	254	8	8	92	100	95
N.- 8	371	12	21	79	100	80
N.- 16	534	18	39	61	85	50
N.- 30	673	22	61	39	60	25
N.- 50	575	19	80	20	30	10
N.- 100	372	12	93	7	10	2
N.- 200	156	5	98	2	0	0
BANDEJA	65	2	100	0	0	0
	3000	100	301,87			
Curva Granulométrica						
RESULTADOS						
TM= 3/8		TNM= N.-8		MF= 3,02		
TM= TAMÑO MAXIMO (Abertura de menor tamiz por el cual pasa el 100% del agregado) TNM= TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO (Abertura del tamiz cuyo porcentaje retenido acumulado mayor o igual al 15 %) MF= MÓDULO DE FINURA (Suma de porcentajes retenidos acumulados hasta el tamiz N.- 100 dividido para 100)						
NORMAS Y ESPECIFICACIONES						
INEN 694 INEN 695 INEN 873						

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 41: Resultado del peso específico del cemento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO HOLCIM							
FECHA:	19/02/2013			MATERIAL:	Cemento Holcim		
MUESTRA	VOLUMEN DE GASOLINA		Volumen final del frasco de Lechatelier (ml)	Volumen final del frasco de Lechatelier (cm ³)	Volumen del Cemento (cm ³)	Masa del Cemento (g)	PESO ESPECIFICO (g/cm ³)
	Volumen inicial del frasco de Lechatelier (ml)	Volumen inicial del frasco de Lechatelier (cm ³)					
1	0,50	0,50	20,00	20,00	19,50	64,00	3,28
2	0,60	0,60	20,10	20,10	19,50	64,00	3,28
3	0,40	0,40	19,90	19,90	19,50	64,00	3,28
4	0,20	0,20	19,20	19,20	19,00	64,00	3,37
5	0,10	0,10	18,70	18,70	18,60	64,00	3,44
6	0,60	0,60	20,20	20,20	19,60	64,00	3,27
7	0,80	0,80	20,50	20,50	19,70	64,00	3,25
8	0,20	0,20	19,40	19,40	19,20	64,00	3,33
9	0,30	0,30	19,60	19,60	19,30	64,00	3,32
10	0,10	0,10	18,60	18,60	18,50	64,00	3,46
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO							
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
1	3,28	-0,05	0,0021	N=	10	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	
2	3,28	-0,05	0,0021	$\sum(Xi-Xm)^2$	0,0484		
3	3,28	-0,05	0,0021	$\delta=$	0,07331		
4	3,37	0,04	0,0016				
5	3,44	0,11	0,0128	FACTOR DE MAYORACIÓN K=			1,27
6	3,27	-0,06	0,0039				
7	3,25	-0,08	0,0063	VALOR CARACTERÍSTICO			
8	3,33	0,01	0,0000	Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d			
9	3,32	-0,01	0,0001	Xm=	3,33	Peso Especifico (caract.)(g/cm ³)	3,20
10	3,46	0,13	0,0173	$\delta=$	0,07331		
Xm=	3,33	$\sum(Xi-Xm)^2=$	0,0484	k=	1,27		
PESO ESPECÍFICO CARACTERÍSTICO =					3,20		(g/cm³)

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 42: Resultado de la masa unitaria suelta del cemento

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS						
MASA UNITARIA SUELTA DEL CEMENTO HOLCIM										
FECHA:		19/02/2013			MATERIAL:		Cemento Holcim			
MUESTRA	Masa del recipiente (g)	Masa del recipiente + agua (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Masa del árido suelto + recipiente (g)				Masa árido suelto (g)	MUS (g/cm ³)	
				1	2	3	Promedio			
1	3158	6115	2957	6155	6109	6174	6146,00	2988,00	1,01	
2	3158	6115	2957	6146	6185	6141	6157,33	2999,33	1,01	
3	3158	6115	2957	6111	6190	6153	6151,33	2993,33	1,01	
4	3158	6115	2957	6155	6156	6164	6158,33	3000,33	1,01	
5	3158	6115	2957	6110	6123	6198	6143,67	2985,67	1,01	
6	3158	6115	2957	6170	6110	6190	6156,67	2998,67	1,01	
7	3158	6115	2957	6141	6125	6180	6148,67	2990,67	1,01	
8	3158	6115	2957	6165	6145	6161	6157,00	2999,00	1,01	
9	3158	6115	2957	6107	6198	6170	6158,33	3000,33	1,01	
10	3158	6115	2957	6138	6162	6149	6149,67	2991,67	1,01	
CÁLCULO DEL VALOR CARACTERÍSTICO										
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR						
1	1,01	0,00	0,00001	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	N=	10				
2	1,01	0,00	0,00000		$\sum(Xi-Xm)^2$	0,00				
3	1,01	0,00	0,00000		$\delta=$	0,001863				
4	1,01	0,00	0,00000		FACTOR DE MAYORACIÓN K=				1,27	
5	1,01	0,00	0,00001		VALOR CARACTERÍSTICO					
6	1,01	0,00	0,00000		Valorcaract=Xm-1,34*k*d					
7	1,01	0,00	0,00000		Xm=	1,01	MUS (caract.) (g/cm ³)		1,01	
8	1,01	0,00	0,00000		$\delta=$	0,002				
9	1,01	0,00	0,00000		k=	1,27				
10	1,01	0,00	0,00000		Xm=	1,01				
Xm=	1,01	$\sum(Xi-Xm)^2=$	0,00003	MASA UNITARIA SUELTA CARACTERÍSTICA =				1,01	g/cm³	

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

3.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LAS DOSIFICACIONES

Prueba de mezclas 1

Tabla 43: Resultados del ensayo a compresión de las mezclas del C.A.R con diferentes porcentajes de microflice y superplastificante.

N° Probeta	Codificación de Muestra	f'c (kg/cm ²)	Asentamiento (cm)	Superplastificante (%)	Dimensiones espécimen								Datos del espécimen				Resultados del espécimen					
					D1 (mm)	D2 (mm)	Dpromedio (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	Lpromedio (mm)	Fecha Muestra	Fecha Ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Carga Máxima (N)	Tipo de Falla	L/D	Área (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Densidad (kg/m ³)	
1	M 0% (1)	500	15,0	1,00	152,14	152,32	152,23	305	305	306	305,33	13/03/2013	20/03/2013	7	12,995	590200,0	3	2,01	18200,80	32,43	2338,36	
2	M 0% (2)	500	15,0	1,00	152,54	152,14	152,34	306	305	306	305,67	13/03/2013	20/03/2013	7	12,496	599622,0	2	2,01	18227,11	32,90	2242,88	
3	M 0% (3)	500	15,0	1,00	150,05	150,00	150,03	305	305	306	305,33	13/03/2013	20/03/2013	7	12,982	586670,0	2	2,04	17677,35	33,19	2405,19	
4	M 0% (4)	500	15,0	1,00	152,14	152,09	152,12	305	306	305	305,33	13/03/2013	10/04/2013	28	13,023	765727,7	3	2,01	18173,31	42,13	2346,94	
5	M 0% (5)	500	15,0	1,00	152,31	152,43	152,37	307	305	307	306,33	13/03/2013	10/04/2013	28	13,137	787339,8	2	2,01	18234,29	43,18	2351,87	
6	M 0% (6)	500	15,0	1,00	152,24	152,22	152,23	306	306	306	306,00	13/03/2013	10/04/2013	28	13,104	710757,1	2	2,01	18200,80	39,05	2352,84	
7	M 3% (1)	500	18,0	1,30	152,04	152,44	152,24	305	305	304	304,67	11/03/2013	18/03/2013	7	13,101	704098,8	2	2,00	18203,19	38,68	2362,28	
8	M 3% (2)	500	18,0	1,30	152,46	152,22	152,34	304	305	305	304,67	11/03/2013	18/03/2013	7	13,159	711414,6	2	2,00	18227,11	39,03	2369,63	
9	M 3% (3)	500	18,0	1,30	152,48	152,49	152,49	305	305	305	305,00	11/03/2013	08/04/2013	28	13,126	931685,6	3	2,00	18261,82	51,02	2356,61	
10	M 3% (4)	500	18,0	1,30	152,19	152,35	152,27	304	304	305	304,33	11/03/2013	08/04/2013	28	13,050	906784,3	3	2,00	18210,36	49,79	2354,74	
11	M 3% (5)	500	18,0	1,30	152,18	152,22	152,20	306	305	305	305,33	11/03/2013	08/04/2013	28	13,134	880362,9	3	2,01	18193,62	48,39	2364,31	
12	M 5% (1)	500	3,5	1,25	150,33	151,22	150,78	301	302	301	301,33	12/03/2013	19/03/2013	7	12,616	549019,3	3	2,00	17854,54	30,75	2344,91	
13	M 5% (2)	500	3,5	1,25	152,18	152,23	152,21	306	305	305	305,33	12/03/2013	19/03/2013	7	12,860	584047,6	2	2,01	18194,82	32,10	2314,83	
14	M 5% (3)	500	3,5	1,25	152,23	152,16	152,20	307	304	304	305,00	12/03/2013	19/03/2013	7	12,811	576018,7	2	2,00	18192,43	31,66	2308,83	
15	M 5% (4)	500	3,5	1,25	151,29	152,10	151,70	307	307	308	307,33	12/03/2013	09/04/2013	28	12,732	818463,1	2	2,03	18073,09	45,29	2292,21	
16	M 5% (5)	500	3,5	1,25	151,38	151,10	151,24	300	302	301	301,00	12/03/2013	09/04/2013	28	12,677	863025,1	3	1,99	17964,83	48,04	2344,37	
17	M 5% (6)	500	3,5	1,25	152,06	151,48	151,77	307	305	306	306,00	12/03/2013	09/04/2013	28	12,936	845923,2	3	2,02	18090,97	46,76	2336,77	
18	M 7% (1)	500	2,0	1,25	150,05	150,44	150,25	304	305	305	304,67	12/03/2013	19/03/2013	7	12,401	551845,5	2	2,03	17729,70	31,13	2295,78	
19	M 7% (2)	500	2,0	1,25	152,43	152,43	152,43	306	305	304	305,00	12/03/2013	19/03/2013	7	12,916	583925,1	3	2,00	18248,65	32,00	2320,58	
20	M 7% (3)	500	2,0	1,25	152,08	152,25	152,17	305	305	305	305,00	12/03/2013	19/03/2013	7	12,871	570919,4	2	2,00	18185,26	31,39	2320,56	
21	M 7% (4)	500	2,0	1,25	152,14	152,01	152,08	305	306	305	305,33	12/03/2013	09/04/2013	28	12,942	875143,8	3	2,01	18163,75	48,18	2333,57	
22	M 7% (5)	500	2,0	1,25	152,21	152,32	152,27	305	305	305	305,00	12/03/2013	09/04/2013	28	12,864	749101,5	3	2,00	18209,17	41,14	2316,25	
23	M 7% (6)	500	2,0	1,25	152,23	152,33	152,28	305	305	307	305,67	12/03/2013	09/04/2013	28	12,918	854777,6	2	2,01	18212,75	46,93	2320,45	
24	M 9% (1)	500	2,0	1,30	155,16	155,10	155,13	301	300	300	300,33	12/03/2013	19/03/2013	7	12,649	572358,4	2	1,94	18900,86	30,28	2228,29	
25	M 9% (2)	500	2,0	1,30	152,51	152,51	152,51	302	306	304	304,00	12/03/2013	19/03/2013	7	12,912	556482,8	1	1,99	18267,81	30,46	2325,06	
26	M 9% (3)	500	2,0	1,30	152,58	152,32	152,45	306	305	306	305,67	12/03/2013	19/03/2013	7	12,891	575690,7	2	2,01	18253,44	31,54	2310,44	
27	M 9% (4)	500	2,0	1,30	152,46	152,45	152,46	308	306	306	306,67	12/03/2013	09/04/2013	28	12,862	787345,3	2	2,01	18254,64	43,13	2297,57	
28	M 9% (5)	500	2,0	1,30	152,04	152,35	152,20	305	306	305	305,33	12/03/2013	09/04/2013	28	12,828	806664,1	3	2,01	18192,43	44,34	2309,37	
29	M 9% (6)	500	2,0	1,30	152,18	152,18	152,18	306	304	305	305,00	12/03/2013	09/04/2013	28	12,836	839332,8	2	2,00	18188,84	46,15	2313,79	
30	M 10% (1)	500	20,0	2,00	155,50	155,30	155,40	305	305	304	304,67	13/03/2013	20/03/2013	7	12,900	440388,0	2	1,96	18966,71	23,22	2232,40	
31	M 10% (2)	500	20,0	2,00	152,14	152,20	152,17	304	305	305	304,67	13/03/2013	20/03/2013	7	12,700	483750,0	2	2,00	18186,45	26,60	2292,09	
32	M 10% (3)	500	20,0	2,00	152,34	152,24	152,29	306	305	306	305,67	13/03/2013	20/03/2013	7	12,560	611042,0	3	2,01	18215,15	33,55	2255,84	
33	M 10% (4)	500	20,0	2,00	152,27	151,15	151,71	303	305	305	304,33	13/03/2013	10/04/2013	28	13,005	867945,6	2	2,01	18076,66	48,01	2363,97	
34	M 10% (5)	500	20,0	2,00	152,09	152,25	152,17	306	304	305	305,00	13/03/2013	10/04/2013	28	13,089	865069,5	3	2,00	18186,45	47,57	2359,71	
35	M 10% (6)	500	20,0	2,00	153,35	153,20	153,28	303	304	304	303,67	13/03/2013	10/04/2013	28	12,982	911355,6	3	1,98	18451,54	49,39	2316,92	

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Prueba de mezclas 2

Tabla 44: Resultados del ensayo a compresión de las mezclas del C.A.R con sus diferentes porcentajes de microsílíce.

N° Probeta	Codificación de Muestra	f'c (kg/cm ²)	Asentamiento (cm)	Superplastificante (%)	Dimensiones espécimen							Datos del espécimen				Resultados del espécimen					
					D1 (mm)	D2 (mm)	Dpromedio (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	Lpromedio (mm)	Fecha Muestra	Fecha Ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Carga Máxima (N)	Tipo de Falla	L/D	Área (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Densidad (kg/m3)
1	M 3% (1)	500	20,0	1,30	152,43	152,07	152,25	305	307	307	306,33	26/03/2013	02/04/2013	7	13,224	628215,7	2	2,01	18205,58	34,51	2371,18
2	M 3% (2)	500	20,0	1,30	152,31	152,29	152,30	307	306	305	306,00	26/03/2013	02/04/2013	7	13,129	632633,3	2	2,01	18217,54	34,73	2355,16
3	M 3% (3)	500	20,0	1,30	152,11	152,04	152,08	306	306	306	306,00	26/03/2013	23/04/2013	28	13,067	920413,1	3	2,01	18163,75	50,67	2350,98
4	M 3% (4)	500	20,0	1,30	152,01	152,07	152,04	307	306	306	306,33	26/03/2013	23/04/2013	28	13,103	899943,3	3	2,01	18155,39	49,57	2355,98
5	M 5% (1)	500	18,0	1,30	152,23	152,40	152,32	306	306	306	306,00	26/03/2013	02/04/2013	7	13,120	644633,6	3	2,01	18221,13	35,38	2353,08
6	M 5% (2)	500	18,0	1,30	152,44	152,06	152,25	307	306	306	306,33	26/03/2013	02/04/2013	7	13,006	648813,4	2	2,01	18205,58	35,64	2332,09
7	M 5% (3)	500	18,0	1,30	152,08	152,38	152,23	306	305	307	306,00	26/03/2013	23/04/2013	28	13,120	933976,5	2	2,01	18200,80	51,32	2355,71
8	M 5% (4)	500	18,0	1,30	152,24	152,20	152,22	307	306	307	306,67	26/03/2013	23/04/2013	28	13,095	954347,8	3	2,01	18198,40	52,44	2346,42
9	M 7% (1)	500	18,0	1,30	153,41	150,29	151,85	304	304	305	304,33	26/03/2013	02/04/2013	7	12,842	588138,6	2	2,00	18110,04	32,48	2330,04
10	M 7% (2)	500	18,0	1,30	152,17	152,19	152,18	306	307	306	306,33	26/03/2013	02/04/2013	7	12,981	581246,6	3	2,01	18188,84	31,96	2329,75
11	M 7% (3)	500	18,0	1,30	152,03	152,14	152,09	307	306	307	306,67	26/03/2013	23/04/2013	28	13,061	908289,5	2	2,02	18166,14	50,00	2344,48
12	M 7% (4)	500	18,0	1,30	152,17	152,14	152,16	306	306	306	306,00	26/03/2013	23/04/2013	28	13,043	894074,1	2	2,01	18182,87	49,17	2344,19
13	M 10% (1)	500	17,0	1,30	154,07	154,26	154,17	302	301	301	301,33	26/03/2013	02/04/2013	7	12,731	556174,1	2	1,95	18666,44	29,80	2263,36
14	M 10% (2)	500	17,0	1,30	152,02	152,03	152,03	304	305	305	304,67	26/03/2013	02/04/2013	7	12,860	592541,0	2	2,00	18151,81	32,64	2325,39
15	M 10% (3)	500	17,0	1,30	152,08	152,10	152,09	307	306	306	306,33	26/03/2013	23/04/2013	28	13,074	881801,0	2	2,01	18167,33	48,54	2349,22
16	M 10% (4)	500	17,0	1,30	152,43	152,40	152,42	306	306	306	306,00	26/03/2013	23/04/2013	28	12,981	922862,8	3	2,01	18245,06	50,58	2325,10

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

CAPÍTULO IV

4. DISCUSIÓN

Esta investigación permitió establecer objetivos que permitieron dar solución a la hipótesis; entre los objetivos cumplidos en la etapa tenemos:

- Ensayar y calcular las características mecánicas de los materiales escogidos.

Agregado grueso: El agregado grueso seleccionado es el ripio triturado de la mina Cerro Negro, la misma que se encuentra en la ciudad de Riobamba en barrio de la industrias, las características de este material se exponen en el capítulo III, el peso específico cuyo valor es de $2,51 \text{ g/cm}^2$ es una de las propiedades más importantes ya que de esta dependerá la resistencia del concreto. Debido a todas sus características se determinó que es un material ideal para el diseño y posterior elaboración del concreto de alta resistencia.

Agregado fino: El material seleccionado es una arena de río, específicamente del Río Chambo, el sitio de extracción se encuentra en el sector de Guanando cantón Penipe, se lo puede adquirir con mayor facilidad en las instalaciones de Hormigones Moreno ubicado en la Av. Circunvalación y Antonio Santillán esquina. Este material fue seleccionado debido a sus características, especialmente por su módulo de finura (MF=3) y capacidad de absorción (C.A=3,44%), de estas propiedades depende que reaccione favorable o desfavorable con las adiciones y superplastificantes y de esto dependerá la resistencia a la compresión que pueda alcanzar el diseño final.

Cemento Holcim Rocafuerte: Es un cemento de uso general de venta en la red de franquiciados Disensa, a nivel nacional. Este es un cemento Portland tipo IP, para la producción de cemento cuentan con una planta ubicada en el km 19 de la vía a la costa en la ciudad de Guayaquil y una molienda en la ciudad de Latacunga. Cuentan con un laboratorio que monitorea constantemente el cemento que se produce desde la

extracción de la caliza hasta su almacenamiento y envasado. El cemento es elaborado bajo norma vigente NTE INEN 2380 equivalente a la ASTM C 1157 (norma norteamericana) cuyo requisito prioritario es el desempeño de los cementos hidráulicos al ser usados en concreto.

El peso específico es de $3,2 \text{ g/cm}^3$ y de este valor dependerá la resistencia a la compresión que puede alcanzar el concreto de alta resistencia.

Sikafume: Es una adición en polvo fino, color gris, con base en microsílica, que permite aumentar las resistencias mecánicas y químicas de concretos y morteros endurecidos. Su doble efecto puzolánico y granular, mejora las características del mortero, disminuyendo la porosidad y creando mediante su reacción con la cal libre, una estructura densa y resistente al ataque de aguas y ambientes agresivos.

Diseñado para cumplir con los requerimientos de la Norma ASTM C 1240.

La microsílice utilizada reaccionó favorablemente con el cemento y superplastificante escogido, produciendo una mezcla homogénea y trabajable.

Sika ViscoCrete 2100: Aditivo reductor de agua de alto rango y superplastificante, fabricado con los polímeros policarboxilatos. Diseñado para cumplir con los requerimientos de la Norma ASTM C 494.

Sika ViscoCrete 2100 con pequeñas dosificaciones, se obtienen reducciones de agua entre 10-15% y con altas dosificaciones se pueden lograr reducciones de agua de hasta un 45%. Sika Viscocrete 2100 es aplicable para todos los niveles de reducción de agua. La acción superplastificante del Sika ViscoCrete 2100 permite obtener altos asentamientos, concretos fluidos con alto mantenimiento de la trabajabilidad que facilitan la colocación con el mínimo vibrado aun cuando las relaciones agua-cemento sean tan bajas como 0,25. Sika ViscoCrete 2100 plastifica el concreto dando alta fluidez, pero manteniendo la cohesión, evitando de esta manera sangrado o segregación.

La cantidad de superplastificante utilizada en la mezcla es del 1,6% por cada gramo de cemento, la recomendación que da el fabricante es que se varié del 1 al 2% del peso del cemento, luego de varias pruebas se llegó al valor especificado anteriormente.

- Establecer un diseño patrón de concreto con la mejor proporción de agregados estableciendo una dosificación adecuada.

Luego de establecer un proporcionamiento adecuado de agregados, cemento y agua en el diseño patrón, se agregó al diseño microsilíce y superplastificante en diferentes porcentajes (3% al 10% de microsilíce por cada kg de cemento), para luego tomar muestras y ensayar a los tiempos indicados según normas establecidas.

Se estableció un patrón de resistencia según el porcentaje de microsilíce y superplastificante agregado para alcázar un concreto con una resistencia a la compresión mayor de 50 MPa.

- Determinar la resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia a los 7 y 28 días.

Luego de evaluar los resultados de los ensayos a compresión de la **Mezcla 1**, se determinó que no llegamos a la resistencia prevista (se alcanzó una resistencia promedio de 46 MPa), debido a esto se buscó otra alternativa, se diseñó una nueva **Mezcla 2**, a la que no se le resto la cantidad de microsilíce si no solo se adiciono está, al ensayar la **Mezcla 2** pudimos observar que la resistencia a la compresión aumentó y así llegamos a una resistencia 50 MPa.

4.1 VALIDEZ EXTERNA

4.1.1 Generalización de resultados

Las teorías, especificaciones, criterios y resultados obtenidos en esta investigación pueden ser utilizados y reproducidos siempre y cuando se cumpla con las

recomendaciones, metodologías empleadas y se verifique las propiedades físicas de los materiales usados para el diseño y elaboración de un concreto de alta resistencia. La difusión de los conocimientos y experiencias de esta investigación se pueden poner en práctica ya que para las etapas de diseño y elaboración de concretos de alta resistencia se trabajaron con muestras representativas que pudieron satisfacer los requerimientos como se puede observar en los resultados.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los agregados ensayados y materiales cementantes son de buenas características mecánicas y químicas, ya que nos permitieron diseñar una mezcla que alcanzó los 500 kg/cm^2 a compresión.
- La cantidad de microsílíce utilizada para el diseño final fue del 3% del peso del cemento, con esta cantidad de microsílíce alcanzamos una resistencia a la compresión de 500 kg/cm^2 .
- La adición de microsílíce y la inclusión de superplastificante al diseño patrón aumenta la resistencia en un 28% ya que la resistencia inicial fue de 37,7 MPa y la resistencia final fue de 51,88 MPa.
- El concreto de alta resistencia, con respecto al tradicional presenta algunas ventajas, en las que se destacan: alta resistencia a la compresión que superan los 50MPa, mayor durabilidad es decir resistencia al ataque químico, protección contra la erosión y abrasión; menos riesgo de fisuración.
- La compatibilidad de la microsílíce, superplastificantes y cemento es muy buena, pues se logró una trabajabilidad aceptable con un asentamiento promedio de 18 cm y no se observó segregación del material cementante ni de los agregados.
- Los concretos con superplastificante presentan gran incremento en el asentamiento que van de un asentamiento casi nulo sin superplastificante,

hasta alcanzar un asentamiento de 18 cm con la inclusión del 1,6 % de superplastificante por cada kg de cemento, sin embargo, este incremento es de corta duración y en un lapso de 10 a 20 minutos, el concreto vuelve a su consistencia original.

- Por medio de la presente investigación, podemos concluir que es técnicamente viable elaborar en la ciudad de Riobamba un concreto de alta resistencia con agregados y adiciones disponibles en la localidad, el mismo que podrá ser utilizado para el diseño de elementos estructurales sometidos a grandes esfuerzos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Previo a la elaboración del concreto de alta resistencia se recomienda obtener las propiedades de los materiales a utilizarse ya que en el momento de adquirir el material este pudo ser extraído de otro lote y puede variar sus características.
- Para la elaboración del concreto de alta resistencia se recomienda diluir el superplastificante en el agua de mezclado, la preparación se la realiza primero agregando el agregado grueso y la mitad del agua de mezclado más superplastificante, luego se añade el agregado fino, cemento y microsílíce, una vez añadido todos estos constituyentes de concreto de alta resistencia añadimos la otra mitad de agua de mezcla más superplastificante.
- Los cambios de las dosificaciones deben ser controlados, teniendo cuidado en el uso en exceso de microsílíce y superplastificante ya que puede causar segregación del concreto y el exceso de la microsílíce puede causar un concreto no trabajable el cual no podría ser usado en obra o su manipulación muy complicada.
- Es importante realizar mezclas de prueba en laboratorio antes de utilizar una dosificación nueva para elementos estructurales.
- Los cilindros deben de ser elaborados siguiendo las normas ASTM C-31. El curado debe de ser el mismo para todos los especímenes. Los diámetros de los cilindros deberán ser medidos con un micrómetro de exteriores, tomando por lo menos 2 medidas para obtener un promedio de ellos de igual manera se procederá para la altura, se tomara 3 medidas para obtener un promedio para cálculos posteriores.

- En la etapa de elaboración se recomienda planificar detalladamente los procedimientos de dosificación, mezclado, vertido y si se da el caso tomar en cuenta el acabado de elementos estructurales construidos con concretos de alta resistencia, debido a que pequeñas variaciones en estos procedimientos pueden mostrar grandes cambios en los resultados deseados.

- Se recomienda realizar estudios con otras adiciones, retardantes, acelerantes, con el fin de observar las influencias de las en las propiedades analizadas en esta tesis.

- Se recomienda utilizar dosificaciones recomendadas por el fabricante tanto de microsílíce como de superplastificante para que no exista segregación, ni exudación del concreto de alta resistencia.

CAPITULO VI

6. PROPUESTA

6.1 TITULO DE LA PROPUESTA

Metodología de diseño para la elaboración de un Concreto de Alta Resistencia (50 MPa) con agregados de las minas de Cerro Negro y Penipe con adición de microsílíce y superplastificante.

6.2 INTRODUCCIÓN

La presente propuesta, está orientada al diseño y elaboración de un concreto de alta resistencia (50 MPa) con agregados y adiciones que pueden ser adquiridas en la ciudad de Riobamba.

La aceptación de esta metodología pretende ingresar el uso de un concreto de alta resistencia en construcciones de gran envergadura en la localidad, pretendiendo de esta manera una reducción en las secciones de los elementos, previo a esto el diseñador deberá tener en claro la metodología para el diseño y elaboración del concreto de alta resistencia para alcanzar el objetivo de reducir secciones.

El cumplimiento de los procedimientos expuestos, garantizaran la calidad, elaboración y puesta en obra del concreto de alta resistencia, ya que se propone una dosificación con agregados de la localidad, al igual aditivos y adiciones factibles de cotizar.

6.3 OBJETIVOS

6.3.1 Objetivo General

Describir una metodología apropiada para el diseño y elaboración de un Concreto de Alta Resistencia (50 MPa) con agregados de las minas de Cerro Negro y Penipe con

adición de microsílíce y superplastificante.

6.3.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar el diseño de una mezcla de concreto usando el método del Comité 211.4 del ACI, basándonos en una resistencia a compresión de 50 MPa.
- b) Determinar las propiedades tanto del concreto en estado fresco (asentamiento, densidad), como del concreto en estado endurecido (esfuerzo a compresión, módulo de elasticidad, índice de ductilidad)
- c) Establecer la relación costo-beneficio del concreto de alta resistencia.

6.4 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO –TÉCNICA

El ACI define a un concreto de alta resistencia como aquel que alcanza una resistencia igual o superior a los 50 MPa (500 kg/cm²) a los 28 días, usualmente estos concretos son considerados como del alto desempeño, sin embargo para cumplir esta condición deben poseer además otras características como son una adecuada trabajabilidad y durabilidad.

6.4.1 Selección de los materiales a utilizarse

Cemento: La elección del cemento portland para concreto de alta resistencia es extremadamente importante, es por eso que se le debe brindar la mayor atención antes y durante la construcción de la estructura respectiva, además, dentro de un tipo de cemento de marcas diferentes, tendrán distintas características debido a las variaciones en los compuestos. Es muy importante que el cemento empleado tenga una elevada resistencia y uniformidad.

Agregado fino: Agregados con formas de las partículas redondas y la textura lisa se han recomendado para requerir menos agua en el mezclado de concreto. La óptima

graduación en el agregado fino para este concreto es determinada más por su efecto en requisito de agua que en su embalaje físico. Un informe declaro que un poco de arena con un módulo de fineza debajo de 2,5 dio una consistencia pegajosa al concreto y lo hacen difícil de compactar. Arena con un módulo de finura de aproximadamente 3 dio una mejor trabajabilidad y mejor resistencia a compresión.

Agregado grueso: Muchos estudios han mostrado que para la fuerza de compresión óptima con el volumen de cemento alto y las proporciones de agua-cemento bajas, el tamaño del agregado grueso debe ser graduado a un mínimo, a $\frac{1}{2}$ " (12,7mm) o $\frac{3}{8}$ (9,5mm); el tamaño máximo $\frac{3}{4}$ " (19,0mm) y 1" (25,4mm) también es usado con éxito. El incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia, debido al aumento de la superficie específica de las partículas. También se ha demostrado que la piedra triturada produce altas resistencias, que a comparación de la piedra de canto rodado, sin embargo, se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva.

Agua: El agua requerida para un concreto de alta resistencia se especifica para ser de calidad potable, esto es ciertamente conservador pero normalmente no constituye un problema puesto que la mayoría de veces se produce concreto cerca de un suministro de agua municipal.

Aditivos químicos: los aditivos son ampliamente usados en la producción de concretos de alta resistencia. La alta reducción de agua proporciona funciones de alta resistencia, particularmente al principio (24 horas). También conocidos como superplastificantes.

Las nuevas generaciones de superplastificantes no solo pueden reducir el contenido de agua hasta un 40% si no que además pueden transformar el concreto de alta resistencia en un concreto muy manejable de alto asentamiento; concreto con relación A/C tan bajo como 0,24 de asentamientos hasta 11".

Microsílice: La microsíllice es una puzolana altamente reactiva que puede ser usada como aditivo de 3% -25% por peso de cemento y puede aumentar significativamente la resistencia. La microsíllice es un material que se ofrece en diferentes formas: densificada, como una lechada o mezclada con cemento.

La microsíllice no densificada es muy voluminosa y polvorienta debido a su extrema finura.

6.4.2 Propiedades del concreto de alta resistencia

Las propiedades del concreto de alta resistencia deben reflejar su alto desempeño en condiciones de uso. Entre las propiedades más importantes de este tipo de concreto se puede mencionar la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson, la resistencia a la tracción y el flujo plástico; características de suma importancia en el momento del análisis y diseño de cualquier estructura. De igual manera, el concreto de alta resistencia debe demostrar altas características de desempeño en durabilidad durante su vida útil.

➤ Resistencia a compresión del Concreto de Alta Resistencia

La resistencia a compresión junto con la durabilidad son quizás las propiedades más importantes en todo concreto, ya que de acuerdo con estas características inherentes del material se puede catalogar su calidad dentro de su periodo de servicio.

Es necesario tener en cuenta que el menor desarrollo del estado de fisuración interno de los CAR reduce la posibilidad de una redistribución de los esfuerzos en el material ante un aumento posterior de carga, lo que conduce finalmente a la ruptura frágil y explosiva del concreto. La falla en el concreto de alta resistencia se da atravesando los agregado en lugar de rodearlos tal y como sucede en el concreto convencional, por lo que se genera así la disminución notable de su capacidad de transmisión de los esfuerzos cortantes, aumentando así la pendiente de la rama post-pico y disminuyendo la deformación última. Dicha falla explosiva se puede observar en la figura 14.



Figura 14: Disgregación del concreto por falla explosiva de un concreto de alta resistencia

➤ **Módulo de elasticidad del Concreto de Alta Resistencia**

El módulo de elasticidad sigue los principios de la ley de Hooke expuesta en 1676, la cual expresa que para ciertos materiales de ingeniería existe una proporcionalidad en la parte elástica de la curva esfuerzo deformación entre los esfuerzos y las deformaciones unitarias. Lo anterior se puede plantear de la siguiente forma:

$$\sigma = \varepsilon * E$$

En donde:

σ = Esfuerzo (MPa)

E= Módulo de elasticidad (MPa)

ε = Deformación Unitaria (mm/mm)

Entonces, se podría decir que el módulo es la constante de proporcionalidad y que representa la pendiente de la recta en la curva esfuerzo deformación, esto si hablamos de materiales que presenten propiedades elásticas en la curva $\sigma - \varepsilon$. En materiales no lineales como el concreto, la relación esfuerzo y deformación se representa en la siguiente Figura.

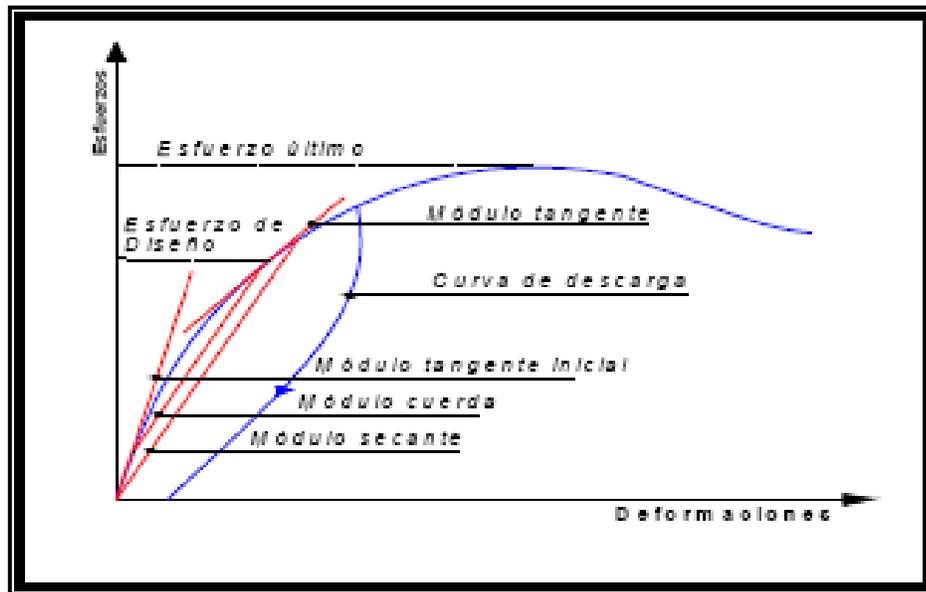


Figura 15: Diagrama típico $\sigma - \epsilon$ para el concreto mostrado los diferentes módulos de elasticidad

Como se puede observar en la Figura 15, hay diversas formas de definir el módulo de elasticidad del concreto. Una característica importante en el concreto de alta resistencia es que se pueden obtener módulos de elasticidad bastante altos en comparación con los concretos convencionales; sin embargo, hay que tener en cuenta que existe un aumento notorio del módulo del concreto convencional con la resistencia, mientras que en el concreto de alta resistencia este aumento no es tan notorio.

6.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

6.5.1 Metodología de diseño para la elaboración del concreto de alta resistencia

Para la dosificación del concreto de alta resistencia utilizaremos el siguiente procedimiento. Cabe resaltar que la metodología descrita para la dosificación del concreto de 50 MPa, se realizaron con materiales que tienen las siguientes características:

Agregados

- Agregado grueso

Procedencia: Mina de Cerro Negro

Tamaño Máximo: 1”

Peso específico: 2,51g/cm³

Humedad: 1,09%

Absorción: 2,20%



Figura 16.- Muestra del agregado grueso

- Agregado fino

Procedencia: Mina de Penipe

Módulo de Finura: 3,0

Peso específico: 2,30 g/cm³

Humedad: 4,83%

Absorción: 3,44%



Figura 17.- Muestra del agregado fino

Cemento

- Cemento Holcim Rocafuerte

Los cementos que a menudo podemos encontrar en stock dentro de la ciudad de Riobamba son Chimborazo, Holcim⁶ y Selva Alegre. Para nuestra propuesta, se consideró únicamente las propiedades del Holcim.

El cemento es elaborado bajo norma vigente NTE INEN 2380 equivalente a la ASTM C 1157 (norma norteamericana) cuyo requisito prioritario es el desempeño de los cementos hidráulicos al ser usados en hormigón.



Figura 18.- Presentación del cemento

⁶ Las características técnicas del Cemento Holcim se detallan en el ANEXO C

Sikafume (microsílice)

Según el ACI 116R el humo de sílice se define como un “muy fino y no cristalino sílice producido en hornos de arco eléctrico como un subproducto de la producción de silicio o de aleaciones elementales que contienen silicio; también es conocido como humo de sílice condensado o microsíllice”.

Densidad (aparente) 700 kg/m^3

Solubilidad en agua parcial



Figura 19.- Presentación de la microsíllice

Sika ViscoCrete 2100 (superplastificante)

El aditivo utilizado en las dosificaciones es el Sika ViscoCrete 2100 es un aditivo líquido, reductor de agua de alto rango y súper plastificante basado en policarboxilatos.

Diseñado para cumplir con los requerimientos de la Norma ASTM C 494.

Densidad: $1,1 \text{ kg/m}^3$



Figura 20.- Presentación del superplastificante

Procedimiento de diseño:

1.- Por la no existencia de registro de pruebas anteriores calculamos la resistencia promedio del concreto a los 28 días.

$$f'_{cr} = \frac{f'_{c} + 98}{0,9}$$

$$f'_{cr} = \frac{500 + 98}{0,9}$$

$$f'_{cr} = 664,444 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

2.- Para un tamaño nominal máximo de agregado grueso igual a 1", obtenemos el volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto = 0,75, calculamos el peso seco del agregado grueso/m³ de concreto:

$$W_{\text{seco}} = \%Vol * MUC$$

$$W_{\text{seco}} = 0,75 * (1,48 * 1000)$$

$$W_{\text{seco}} = 1110 \text{ kg}$$

3.- Para un tamaño nominal máximo igual a 1” (agregado grueso) y con la utilización de superplastificante, la estimación de agua de mezclado requerida es **165 kg/m³** y el contenido de aire es de 1%.

4.- Las relaciones agua-cemento, en peso, varían entre 0,25 y 0,35. Se considera, en teoría, que una relación agua-cemento de 0,28 es adecuada para la hidratación total del cemento, nosotros trabajamos con una **relación a/mc de 0,32**, con la cual obtuvimos la resistencia requerida.

$$\text{Relación } a / mc = 0,32$$

5.- Calculo del contenido de materiales cementicios:

Conocemos en contenido de agua, 165kg.

$$mc = 165 / 0,32$$

$$mc = 515,625kg$$

Debe recordarse, al seleccionar las proporciones, que los consumos de cemento varían entre 400 y 550 kg/m³, en nuestra dosificación propuesta el **contenido de cemento es de 515,63 kg/m³**.

6.- Las proporciones de todos los materiales por m³ excepto la arena es la siguiente:

Tabla 45: Proporción de los materiales

Proporciones de los materiales por m3		
Cemento=	0,161	m ³
Agregado grueso=	0,442	m ³
Agua=	0,165	m ³
Aire=	0,010	m ³
TOTAL=	0,778	m³
Agregado fino=	0,222	m ³

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

La cantidad de agregado fino por m³ es:

$$Ag.Fino = (0,222) * P.E$$

$$Ag.Fino = (0,222) * (2,3 * 1000)$$

$$Ag.Fino = 509,76kg$$

Tabla 46: Proporción de la mezcla en peso

Proporciones de la mezcla en peso		
Cemento=	515,63	kg/m ³
Agregado fino=	509,763	kg/m ³
Agregado grueso=	1110,000	kg/m ³
Agua=	165,000	kg/m ³
Total=	2300,388	kg/m ³

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

7.- La forma de empleo de la microsílíce puede ser como material de adición o de reemplazo, en nuestro caso la utilizamos como material de adición en un porcentaje de **3%**, pero tomando en consideración en no alterar la relación agua-material cementicio.

Tabla 47: Proporción de la mezcla usando cemento y microsílíce

Microsílíce (%)	Cemento (kg)	Microsílíce (kg)
3	515,63	15,47

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Las proporciones de todos los materiales por m³ excepto la arena es la siguiente:

Tabla 48: Proporción de los materiales por m³

Cemento (m ³)	Microsílíce (m ³)	Agregado grueso (m ³)	Agua (m ³)	Aire (m ³)	Total (m ³)
0,161	0,022	0,442	0,170	0,01	0,805

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

El volumen de agregado fino es:

Tabla 49: Volumen del agregado fino por m³

Total (m ³)	Agregado Fino (m ³)
0,805	0,195

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 50: Proporción de la mezcla en peso

kg/m ³					
Cemento	Microsílice	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agua	Total
515,63	15,47	1110,00	447,55	169,95	2258,60

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

8.- Ajuste por el contenido de agua en los agregados:

Contenido de Humedad Ag. Grueso= 1,09%

Contenido de Humedad Ag. Fino= 4,83%

Corregimos el contenido de agregado considerando su contenido de humedad, para la mezcla con solo cemento tendremos:

Ag. Grueso Corregido= 1121,988kg

Ag. Fino Corregido= 534,385kg

Corregimos el agua de mezclado tomando en cuenta la absorción de los agregados:

Agua de mezclado corregida = agua de mezclado- peso Ag. Fino*(%Humedad-%Absorción))-
peso A. Grueso*(%Humedad-%Absorción))

Agua Corregida = 170,244kg

Tabla 51: Pesos corregidos de los materiales

kg/m ³					
Cemento	microsilíce	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agua	Total
515,63	15,47	1121,99	435,89	175,19	2264,17

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 52: Datos de los moldes cilíndricos

Volumen del cilindro=	0,0053	m3
# de cilindros=	22	
Metros cúbicos de concreto =	0,1166	m3
m3 a preparar=	0,14	

9.- El porcentaje de *superplastificante Viscocrete 2100* que utilizamos es de **1.6%** en peso del cemento, con el cual obtuvimos buena trabajabilidad.

Tabla 53: Pesos de los materiales

kg						Aditivo		% microsilíce
Cemento	microsilíce	Agregado Grueso	Agregado Fino	Agua	Total	%	cm ³	
72,19	2,166	157,08	61,02	24,53	316,98	1,6	1089,62	3

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

6.5.2 Dosificación del concreto propuesto:

Tabla 54: Dosificación del concreto de 50 MPa

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSIÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO					
Fecha de Realización:	15/04/2013	PROCEDENCIA DEL MATERIAL			
ELABORADO POR: MARIO CAYAMBE FLOR PÉREZ	Cemento:	HOLCIM			
	Agregado Grueso:	CERRO NEGRO			
	Agregado Fino:	PENIPE			
	Adición:	SIKAFUME			
Aditivo:	VISCOCRETE2100				
CONDICIONES DE DISEÑO:					
Resistencia a la Compresión $f'c$ a los 28 días:		50 MPa			
Condición Ambiental de exposición del concreto:		CONDICIÓN NORMAL			
Tipo de Cemento:		CEMENTO PUZOLANICO TIPO IP			
RESULTADO DE LOS MATERIALES:					
AGREGADO FINO					
MÓDULO DE FINURA	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	M.U.C (g/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	
3,02	2,3	1,81	4,83	3,42	
AGREGADO GRUESO					
TAMAÑO MÁXIMO PARTICULA (Plg)	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	M.U.C (g/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	ABSORCIÓN (%)	
1	2,51	1,48	1,08	2,2	
PROPIEDADES DE MATERIALES					
P.E CEMENTO (g/cm ³)	P.E MICROSIÍLICE (Kg/m ³)	ASENTAMIENTO O (Plg)	F' C (Kg/cm ²)		
3,2	700	8	500		
DOSIFICACIÓN AL PESO: (kg/m³)					
AGUA	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	ADITIVO	ADICIÓN (3%)
175,19	515,63	435,89	1121,99	8,25	15,47
DOSIFICACIÓN EN METROS CÚBICOS: (m³)					
AGUA	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	ADITIVO	ADICIÓN (3%)
0,1752	0,1611	0,1895	0,4470	0,0011	0,0221
DOSIFICACIÓN POR CADA SACO DE CEMENTO					
AGUA	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	ADITIVO	ADICIÓN (3%)
0,34	1,00	0,85	2,18	0,16	0,03
DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN: (parihuela estandar de 33*33*33cm)					
AGUA	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	ADITIVO	ADICIÓN (3%)
0,47	1,38	1,17	3,00	0,22	0,41
RESULTADOS EN EL LABORATORIO:					
ASENTAMIENTO:		16 cm			
DENSIDAD DEL CONCRETO:		2,3 g/cm ³			

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

6.5.3 Resistencia a compresión del concreto propuesto

Tabla 55: Resistencia a compresión del concreto (7 días)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS DE 6"x12"							
Edad de ensayo:		7 días		Fecha de la muestra:		15/04/2013	
				Fecha Ensayo:		22/04/2013	
ELABORADO POR: MARIO CAYAMBE FLOR PÉREZ				PROCEDENCIA DEL MATERIAL			
				Cemento:		HOLCIM	
				Agregado Grueso:		CERRO NEGRO	
				Agregado Fino:		PENIPE	
				Adición:		SIKAFUME	
Aditivo:		VISCOCRETE2100					
N° Probeta	Codificación de la Muestra	Dimensiones del Cilindro		Peso (kg)	Área (mm ²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo (MPa)
		Dpromedio (mm)	Lpromedio (mm)				
1	M1 3%	152,38	301,67	12,831	18235,49	803707,0	44,07
2	M2 3%	152,28	306,00	13,098	18211,56	830514,1	45,60
3	M3 3%	152,22	304,67	13,044	18197,21	871479,6	47,89
4	M4 3%	152,37	303,67	12,885	18233,09	830101,2	45,53
CALCULO DEL VALOR CARACTERISTICO							
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
1	44,07	-1,70	2,890	N=	4	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	
2	45,60	-0,17	0,029	$\sum(Xi-Xm)^2=$	7,461636288		
3	47,89	2,12	4,482	$\delta=$	1,57709		
4	45,53	-0,25	0,061				
Xm	45,77	$\sum(Xi-Xm)^2$	7,462	FACTOR DE MAYORACION K=			1,442
VALOR CARACTERISTICO							
Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d							
	Xm=	45,774		Resistencia (caract.)		42,73	
	δ=	1,5771					
	k=	1,442					
RESISTENCIA A COMPRESIÓN CARACTERÍSTICA =					42,73		MPa

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 56: Resistencia a compresión del concreto (14días)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS				
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS DE 6"x12"								
Edad de ensayo:		14 días		Fecha de la muestra:		15/04/2013		
				Fecha Ensayo:		29/04/2013		
ELABORADO POR: MARIO CAYAMBE FLOR PÉREZ				PROCEDENCIA DEL MATERIAL				
				Cemento:		HOLCIM		
				Agregado Grueso:		CERRO NEGRO		
				Agregado Fino:		PENIPE		
				Aditivo:		VISCOCRETE2100		
N° Probeta	Codificación de la Muestra	Dimensiones del Cilindro		Peso (kg)	Área (mm²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo (MPa)	
		Dpromedio (mm)	Lpromedio (mm)					
1	M5 3%	152,31	301,67	13,039	18218,73	918588,2	50,42	
2	M6 3%	151,33	306,00	12,645	17985,03	897751,0	49,92	
3	M7 3%	151,12	304,67	12,646	17935,15	898105,8	50,08	
4	M8 3%	151,36	303,67	12,923	17992,17	876559,0	48,72	
CALCULO DEL VALOR CARACTERISTICO								
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm)²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
1	50,42	0,64	0,406	N=	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$			
2	49,92	0,13	0,018	$\Sigma(Xi-Xm)^2=$				1,641194097
3	50,08	0,29	0,086	$\delta=$				0,73964
4	48,72	-1,06	1,132					
Xm	49,78	$\Sigma(Xi-Xm)^2$	1,641	FACTOR DE MAYORACION K=			1,442	
VALOR CARACTERISTICO								
Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d								
	Xm=	49,783		Resistencia (caract.)		48,35		
	δ=	0,7396						
	k=	1,442						
RESISTENCIA A COMPRESIÓN CARACTERÍSTICA =					48,35		MPa	

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 57: Resistencia a compresión del concreto (21días)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS DE 6"x12"							
Edad de ensayo:		21 días		Fecha de la muestra:		15/04/2013	
				Fecha Ensayo:		06/05/2013	
ELABORADO POR: MARIO CAYAMBE FLOR PÉREZ				PROCEDENCIA DEL MATERIAL			
				Cemento:		HOLCIM	
				Agregado Grueso:		CERRO NEGRO	
				Agregado Fino:		PENIPE	
				Adición:		SIKAFUME	
Aditivo:		VISCOCRETE2100					
N° Probeta	Codificación de la Muestra	Dimensiones del Cilindro		Peso (kg)	Área (mm²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo (MPa)
		Dpromedio (mm)	Lpromedio (mm)				
1	M9 3%	152,58	303,10	12,932	18283,39	1019687,0	55,77
2	M10 3%	152,22	301,07	12,712	18198,40	991524,8	54,48
3	M11 3%	152,75	304,50	12,599	18325,35	998988,5	54,51
4	M12 3%	152,80	304,20	13,014	18337,35	1011392,1	55,15
CALCULO DEL VALOR CARACTERISTICO							
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm)²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
1	55,77	0,79	0,624	N=	4	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	
2	54,48	-0,50	0,247	$\Sigma(Xi-Xm)^2=$	1,11958319		
3	54,51	-0,47	0,218	$\delta=$	0,61090		
4	55,15	0,17	0,030				
Xm	54,98	$\Sigma(Xi-Xm)^2$	1,120	FACTOR DE MAYORACION K=			1,442
VALOR CARACTERISTICO							
Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d							
	Xm=	54,981		Resistencia (caract.)		53,8	
	$\delta=$	0,6109					
	k=	1,442					
RESISTENCIA A COMPRESIÓN CARACTERÍSTICA =					53,8		MPa

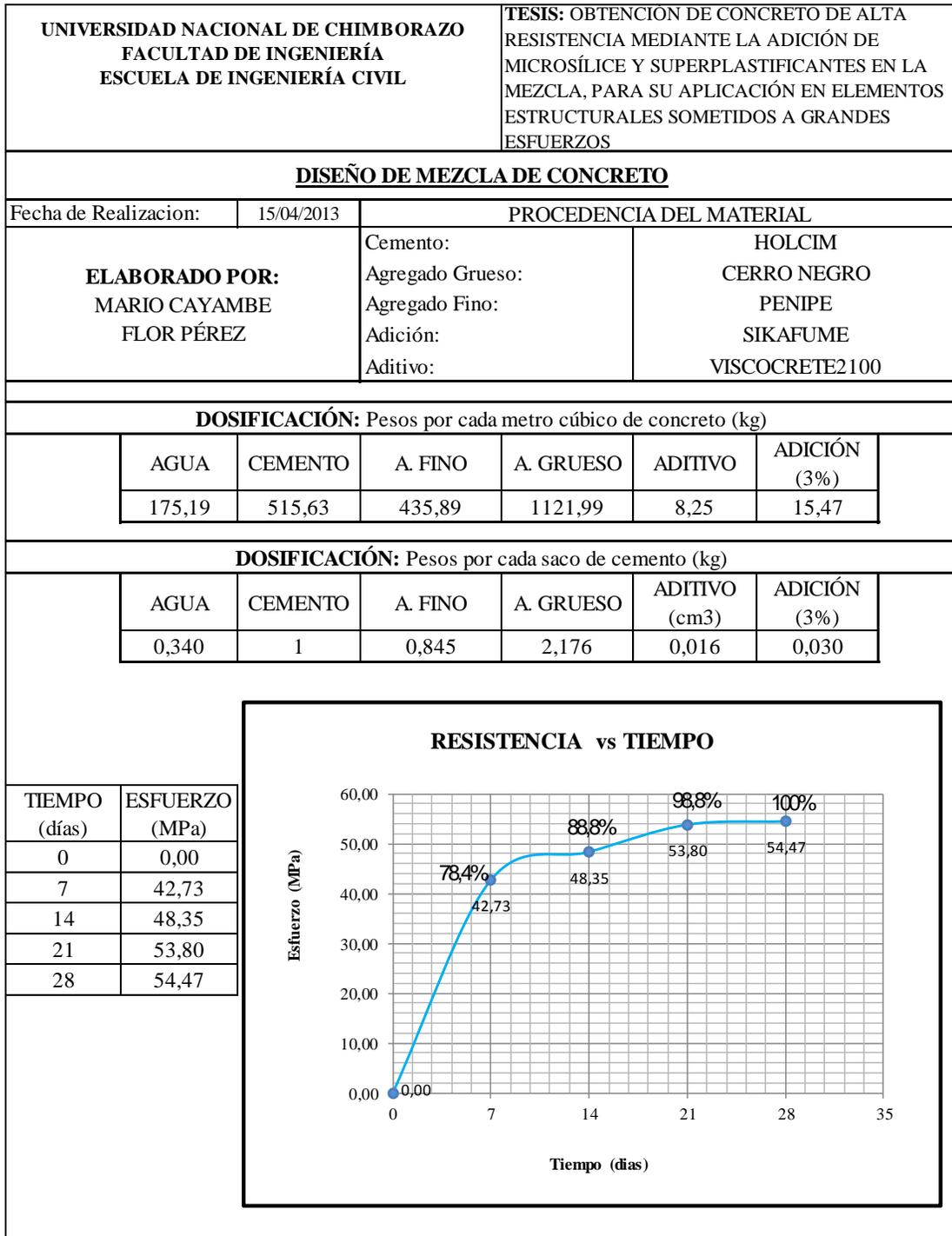
Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 58: Resistencia a compresión del concreto (28días)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS DE 6"x12"							
Edad de ensayo:		28 días		Fecha de la muestra:		15/04/2013	
				Fecha Ensayo:		13/05/2013	
ELABORADO POR: MARIO CAYAMBE FLOR PÉREZ				PROCEDENCIA DEL MATERIAL			
				Cemento:		HOLCIM	
				Agregado Grueso:		CERRO NEGRO	
				Agregado Fino:		PENIPE	
				Adición:		SIKAFUME	
Aditivo:		VISCOCRETE2100					
N° Probeta	Codificación de la Muestra	Dimensiones del Cilindro		Peso (kg)	Área (mm ²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo (MPa)
		Dpromedio (mm)	Lpromedio (mm)				
1	M13 3%	152,20	304,33	13,083	18193,62	1041344,0	57,24
2	M14 3%	152,25	306,67	13,139	18205,58	1016795,0	55,85
3	M15 3%	152,55	306,00	13,007	18277,40	1041656,0	56,99
4	M16 3%	152,50	305,67	13,112	18265,42	1023964,3	56,06
5	M17 3%	152,00	306,67	13,171	18145,84	1010647,8	55,70
6	M18 3%	152,10	306,00	13,064	18169,72	1076688,0	59,26
7	M19 3%	152,25	306,33	13,05	18205,58	1063730,0	58,43
8	M20 3%	152,00	305,33	13,187	18145,84	1016979,0	56,04
9	M21 3%	152,00	306,33	13,097	18145,84	1011345,0	55,73
10	M22 3%	152,10	305,67	13,014	18169,72	1053825,0	58,00
CALCULO DEL VALOR CARACTERISTICO							
ENSAYO	Xi	Xi-Xm	(Xi-Xm) ²	DESVIACIÓN ESTÁNDAR			
1	57,24	0,31	0,094	N=	10	$\delta = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x_m)^2}{N - 1}}$	
2	55,85	-1,08	1,165	$\Sigma(Xi-Xm)^2=$	14,56089341		
3	56,99	0,06	0,004	$\delta=$	1,27196		
4	56,06	-0,87	0,756				
5	55,70	-1,23	1,523	FACTOR DE MAYORACION K=			1,442
6	59,26	2,33	5,417	VALOR CARACTERISTICO Valor _{caract} =Xm-1,34*k*d			
7	58,43	1,50	2,247				
8	56,04	-0,89	0,784	Xm=	56,930	Resistencia (caract.)	54,47
9	55,73	-1,20	1,430	$\delta=$	1,2720		
10	58,00	1,07	1,143	k=	1,442		
Xm=	56,93	$\Sigma(Xi-Xm)^2=$	14,561				
RESISTENCIA A COMPRESIÓN CARACTERÍSTICA =					54,47		MPa

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 59: Curva Característica del concreto “Resistencia vs Tiempo”



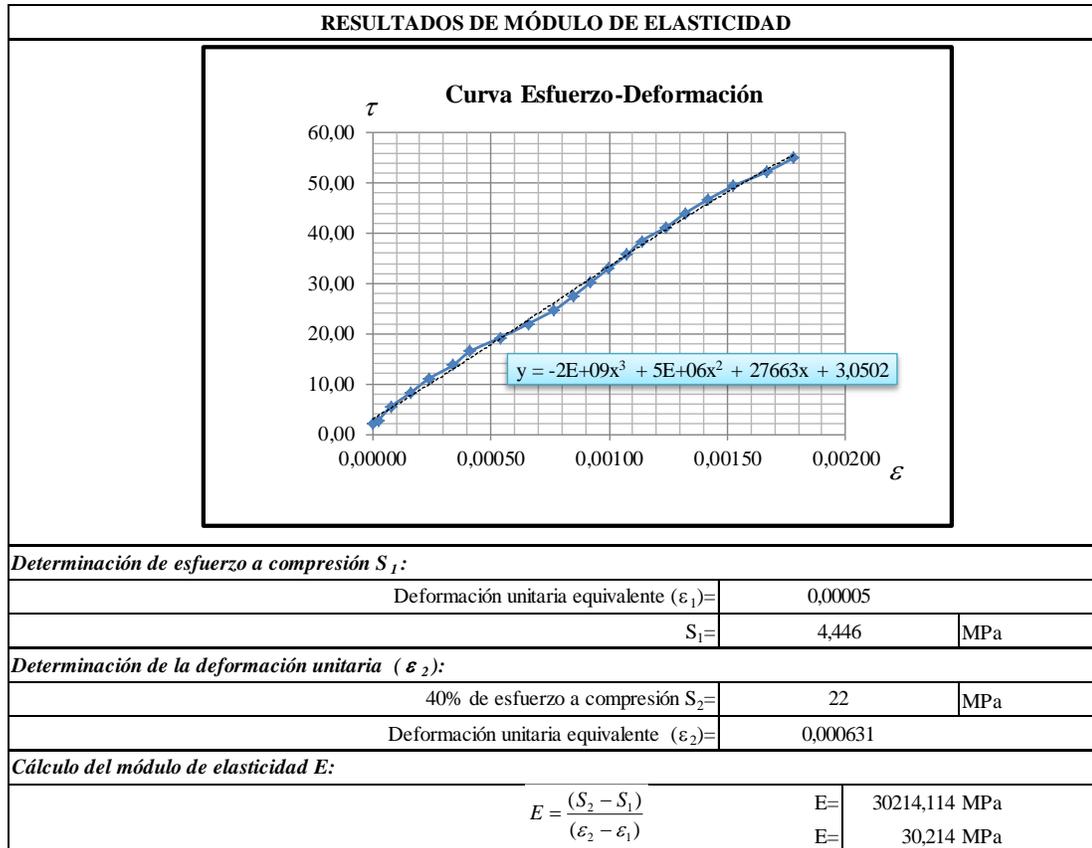
Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

6.5.4 Módulo de elasticidad del concreto propuesto

Tabla 60: Resultados del Módulo de Elasticidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
MÓDULO DE ELASTICIDAD					
Fecha de Realización:	13/05/2013	PROCEDENCIA DEL MATERIAL			
ELABORADO POR: MARIO CAYAMBE FLOR PÉREZ		Cemento:	HOLCIM		
		Agregado Grueso:	CERRO NEGRO		
		Agregado Fino:	PENIPE		
		Adición:	SIKAFUME		
		Aditivo:	VISCOCRETE2100		
CONDICIONES DE DISEÑO:					
Resistencia a la Compresión Promedio:		55		MPa	
Área Promedio de Especímenes:		181,89		cm ²	
Fctor del Deformímetro:		0,0001		plg	
Altura promedio del especímenes (L):		306,066		mm	
CÁLCULO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD					
<i>ESPECIMEN M14, M15, M18, M20, M21</i>					
<i>CARGA (N)</i>	<i>RESISTENCIA A COMPRESION (MPa)</i>	<i>LECTURA</i>	<i>(plg)</i>	<i>δ (mm)</i>	<i>ε = (δ/L)</i>
40000	2,20	0,0	0,00000	0,00000	0,00000
50000	2,75	2,8	0,00028	0,00711	0,00002
100000	5,50	9,6	0,00096	0,02438	0,00008
150000	8,25	19,4	0,00194	0,04928	0,00016
200000	11,00	28,6	0,00286	0,07264	0,00024
250000	13,74	41,0	0,00410	0,10414	0,00034
300000	16,49	49,8	0,00498	0,12649	0,00041
350000	19,24	65,2	0,00652	0,16561	0,00054
400000	21,99	79,4	0,00794	0,20168	0,00066
450000	24,74	92,6	0,00926	0,23520	0,00077
500000	27,49	102,2	0,01022	0,25959	0,00085
550000	30,24	111,2	0,01112	0,28245	0,00092
600000	32,99	120,2	0,01202	0,30531	0,00100
650000	35,74	129,6	0,01296	0,32918	0,00108
700000	38,49	137,0	0,01370	0,34798	0,00114
750000	41,23	149,6	0,01496	0,37998	0,00124
800000	43,98	159,2	0,01592	0,40437	0,00132
850000	46,73	170,8	0,01708	0,43383	0,00142
900000	49,48	184,0	0,01840	0,46736	0,00153
950000	52,23	200,6	0,02006	0,50952	0,00166
1000000	54,98	214,2	0,02142	0,54407	0,00178

Continuación de la tabla 60



Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

El módulo de elasticidad es diferente para distintas resistencias a la compresión de los concretos, e incrementa en valor cuando la resistencia del concreto es mayor.

Tabla 61: Comparación del Módulo de Elasticidad (21 MPa vs 50MPa)

Resistencia (MPa)	Módulo de Elasticidad (GPa)	Observaciones
21	21.7	Es un material que presenta una menor rigidez (mayor elasticidad)
50	30.214	Es un material que presenta una mayor rigidez (menor elasticidad)

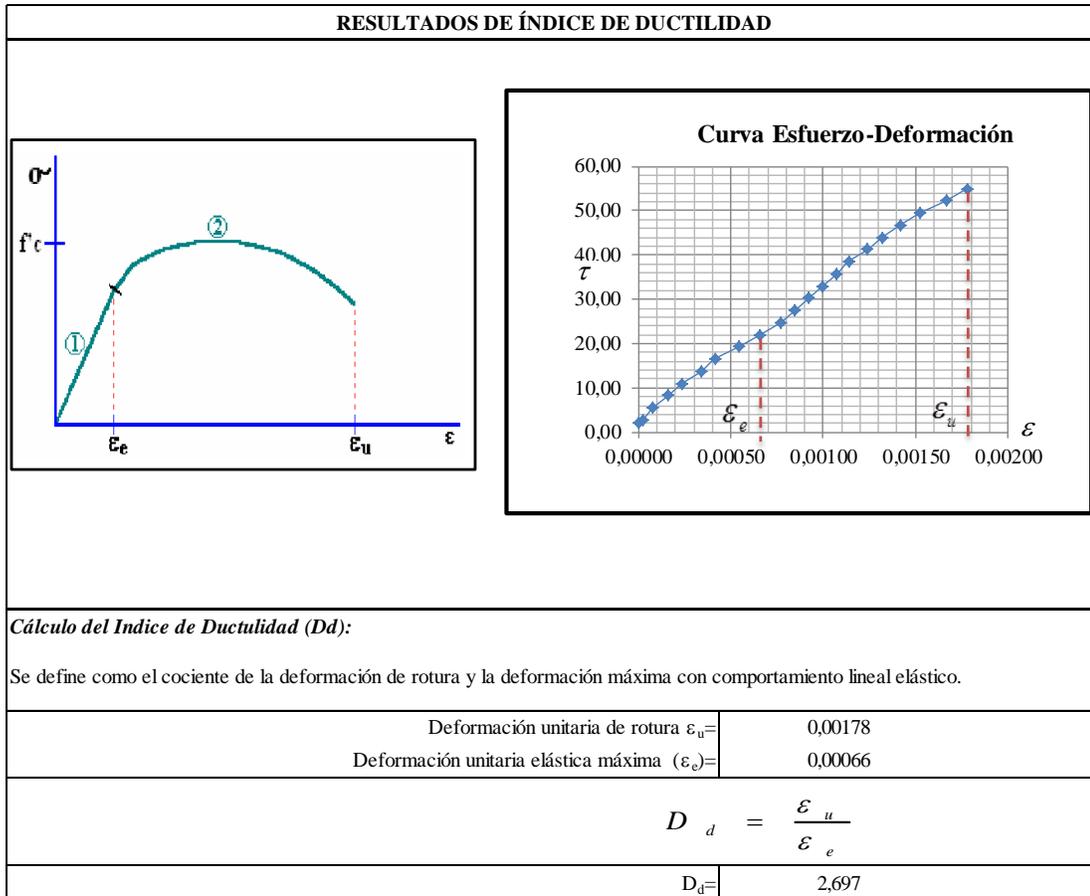
Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

6.5.5 Índice de ductilidad del concreto propuesto

Tabla 62: Resultados del Índice de Ductilidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
ÍNDICE DE DUCTILIDAD					
Fecha de Realización:	13/05/2013	PROCEDENCIA DEL MATERIAL			
ELABORADO POR: MARIO CAYAMBE FLOR PÉREZ		Cemento:	HOLCIM		
		Agregado Grueso:	CERRO NEGRO		
		Agregado Fino:	PENIPE		
		Adición:	SIKAFUME		
		Aditivo:	VISCOCRETE2100		
CONDICIONES DE DISEÑO:					
Resistencia a la Compresión Promedio:		55		MPa	
Área Promedio de Especímenes:		181,89		cm ²	
Fctor del Deformímetro:		0,0001		plg	
Altura promedio del especímenes (L):		306,066		mm	
CÁLCULO DE ÍNDICE DE DUCTILIDAD					
<i>ESPECIMEN M14, M15, M18, M20, M21</i>					
CARGA (N)	RESISTENCIA A COMPRESION (MPa)	LECTURA	(plg)	δ (mm)	$\epsilon = (d/L)$
40000	2,20	0,0	0,00000	0,00000	0,00000
50000	2,75	2,8	0,00028	0,00711	0,00002
100000	5,50	9,6	0,00096	0,02438	0,00008
150000	8,25	19,4	0,00194	0,04928	0,00016
200000	11,00	28,6	0,00286	0,07264	0,00024
250000	13,74	41,0	0,00410	0,10414	0,00034
300000	16,49	49,8	0,00498	0,12649	0,00041
350000	19,24	65,2	0,00652	0,16561	0,00054
400000	21,99	79,4	0,00794	0,20168	0,00066
450000	24,74	92,6	0,00926	0,23520	0,00077
500000	27,49	102,2	0,01022	0,25959	0,00085
550000	30,24	111,2	0,01112	0,28245	0,00092
600000	32,99	120,2	0,01202	0,30531	0,00100
650000	35,74	129,6	0,01296	0,32918	0,00108
700000	38,49	137,0	0,01370	0,34798	0,00114
750000	41,23	149,6	0,01496	0,37998	0,00124
800000	43,98	159,2	0,01592	0,40437	0,00132
850000	46,73	170,8	0,01708	0,43383	0,00142
900000	49,48	184,0	0,01840	0,46736	0,00153
950000	52,23	200,6	0,02006	0,50952	0,00166
1000000	54,98	214,2	0,02142	0,54407	0,00178

Continuación de la tabla 62



Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Es evidente que los índices de ductilidad por deformación del concreto simple decrecen considerablemente cuando aumenta su resistencia a la rotura

Tabla 63: Comparación del Índice de Ductilidad (21 MPa vs 50MPa)

Resistencia (MPa)	Índice de Ductilidad	Observaciones
21	4.5-6.0	Mayor capacidad de deformación
50	2.697	Frágiles, tiene una rotura muy rápida y explosiva (dentro del comportamiento inelástico)

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

6.6 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

El concreto de alta resistencia es un material que se encuentra en desarrollo, y como tal, resulta costoso. En algunas circunstancias su utilización reporta beneficios, en otras no. Antes de considerar la relación costo-beneficio para aplicaciones específicas, se debe estudiar el costo de la producción del material.

La razón de esta economía es que si bien este hormigón es más costoso que mezclas de resistencia normal, este incremento en el costo se ve revertido por la importante reducción en las dimensiones del elemento. Esta particularidad lo hace especialmente atractivo para columnas. Ya que el tamaño de la columna es tan importante arquitectónicamente y más aún por razones de rentabilidad, el hecho de poder disminuir sus dimensiones para estructuras altas permite escoger una solución en concreto en vez de en acero.

6.6.1 Análisis de precio unitario del concreto propuesto

Los beneficios de utilizar concretos de alta resistencia apenas se están haciendo presentes. Con el incremento en la utilización de este concreto en proyectos de ingeniería se alcanzarán más y mayores beneficios en el orden económico. De cualquier forma, los proyectos ya realizados han demostrado las ventajas en su utilización. Por ahora, este hormigón le permite a la ingeniería diseñar con más eficiencia en cuanto a costos y a la utilización del espacio.

Tabla 64: Análisis de Precio Unitario para un Concreto de 50 MPa

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
RUBRO:	CONCRETO $f_c=50\text{MPa}$				
UNIDAD:	m^3				
A.- EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor	0,05	\$ 14,26	\$ 0,71	0,72	\$ 0,51
Mezcladora Mécanica (concret	1,00	\$ 4,38	\$ 4,38	0,72	\$ 3,15
SUBTOTAL A:					\$ 3,67
B.- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	REND. H/U	COSTO
Maestro de obra (C1)	0,10	\$ 3,02	\$ 0,30	0,720	\$ 0,22
Albañil (D2)	1,00	\$ 2,82	\$ 2,82	0,720	\$ 2,03
Peon (E2)	6,00	\$ 2,78	\$ 16,68	0,720	\$ 12,01
SUBTOTAL B:					\$ 14,26
C.- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Cemento Rocafuerte	saco	10,31	\$ 7,50	\$ 77,34	
Arena	m^3	0,19	\$ 15,00	\$ 2,84	
Ripio Triturado	m^3	0,45	\$ 10,00	\$ 4,47	
Agua	m^3	0,18	\$ 1,00	\$ 0,18	
Sikafume (microsilice)	kg	15,47	\$ 2,40	\$ 37,05	
Viscocrete 2100 (superplstificante)	kg	8,25	\$ 6,76	\$ 55,81	
SUBTOTAL C:					\$ 177,69
D.- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/Km	TARIFA	COSTO
Cemento Rocafuerte	saco	10,31	\$ 0,01150	\$ 0,069	\$ 0,71
Arena	m^3	0,19	\$ 0,23000	\$ 1,380	\$ 0,26
Ripio Triturado	m^3	0,45	\$ 0,23000	\$ 1,380	\$ 0,62
Agua	m^3	0,18	\$ 0,23000	\$ 1,380	\$ 0,24
Sikafume (microsilice)	kg	15,47	\$ 0,00023	\$ 0,001	\$ 0,02
Viscocrete 2100 (superplstific	kg	8,25	\$ 0,00023	\$ 0,001	\$ 0,01
SUBTOTAL D:					\$ 1,86
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 197,48
C. INDIRECTO Y UTILIDADES 0,00%					\$ -
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$ 197,48

Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

Tabla 63: Análisis de Precio Unitario para un Concreto de 21 MPa

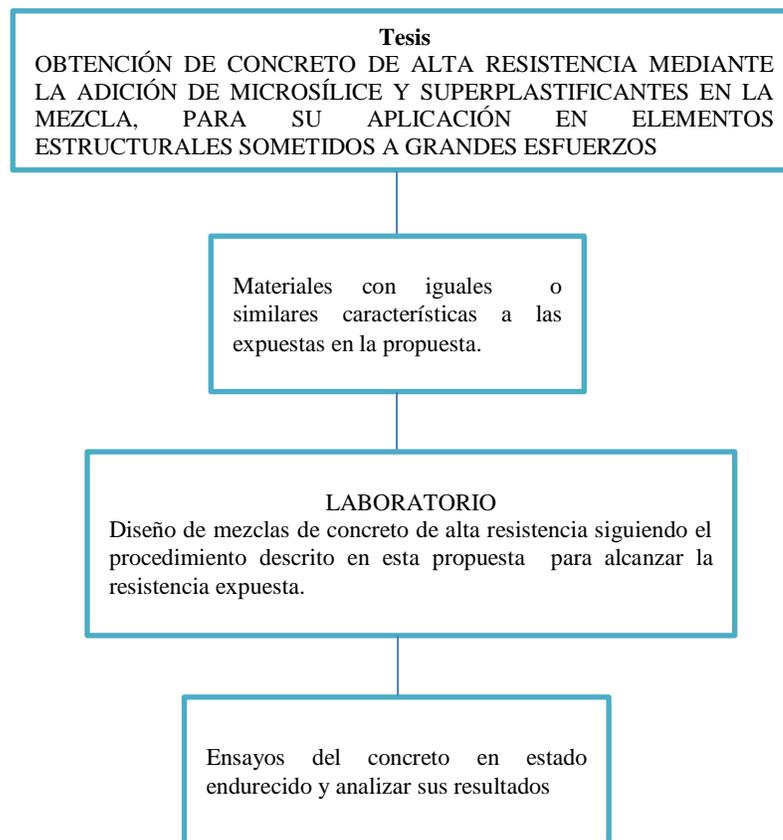
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL		TESIS: OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE LA ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES SOMETIDOS A GRANDES ESFUERZOS			
RUBRO:	CONCRETO $f_c=21$ MPa				
UNIDAD:	m^3				
A.- EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/H	RENDIMIENTO	COSTO
Herramienta menor	0,05	\$ 26,40	\$ 1,32	1,00	\$ 1,32
Mezcladora Mécanica (concret	1,00	\$ 4,38	\$ 4,38	1,00	\$ 4,38
SUBTOTAL A:					\$ 5,70
B.- MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	REND. H/U	COSTO
Maestro de obra (C1)	0,10	\$ 3,02	\$ 0,30	1,333	\$ 0,40
Albañil (D2)	1,00	\$ 2,82	\$ 2,82	1,333	\$ 3,76
Peon (E2)	6,00	\$ 2,78	\$ 16,68	1,333	\$ 22,23
SUBTOTAL B:					\$ 26,40
C.- MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
Cemento Rocafuerte	saco	7,50	\$ 7,50	\$ 56,25	
Arena	m^3	0,45	\$ 15,00	\$ 6,75	
Ripio Triturado	m^3	0,71	\$ 10,00	\$ 7,10	
Agua	m^3	0,22	\$ 1,00	\$ 0,22	
SUBTOTAL C:					\$ 70,32
D.- TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO/Km	TARIFA	COSTO
Cemento Rocafuerte	saco	7,50	\$ 0,01150	\$ 0,069	\$ 0,52
Arena	m^3	0,45	\$ 0,23000	\$ 1,380	\$ 0,62
Ripio Triturado	m^3	0,71	\$ 0,23000	\$ 1,380	\$ 0,98
Agua	m^3	0,22	\$ 0,23000	\$ 1,380	\$ 0,30
SUBTOTAL D:					\$ 2,42
TOTAL COSTO DIRECTO					\$ 104,84
C. INDIRECTO Y UTILIDADES 0,00%					\$ -
COSTO TOTAL DEL RUBRO					\$ 104,84

La diferencia en precio entre un concreto de 50 MPa y 21 MPa es de 92. 64 dólares, este beneficio de costo se reflejara cuando se requiera el diseño de estructuras de gran envergadura.

6.7 DISEÑO ORGANIZACIONAL

Para la producción y/o elaboración de un concreto de alta resistencia, cualquier institución o persona interesada lo puede realizar, pero siempre y cuando se base en el siguiente diagrama organizacional.

Figura 21: Diseño Organizacional de la Propuesta



Elaborado por: Mario E. Cayambe C.
Flor C. Pérez G.

6.8 MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

Se procesó los datos y se analizó los resultados obtenidos, se procedió a la ejecución de la propuesta. Con el cumplimiento de los objetivos permitió implementar un proceso lógico que mediante la práctica de ensayos estandarizados permitió determinar las características mecánicas de los agregados óptimos para la elaboración de un concreto de alta resistencia, adicional a esto se pudo determinar el porcentaje de superplastificante y microsílíce para alcanzar una resistencia de 50 MPa.

Al no poseer un estudio previo dirigido a este tema, hemos propuesto nuestra metodología de diseño y elaboración.

Esta metodología fue planteada con la finalidad de llegar a diseñar y elaborar un concreto de alta resistencia con materiales pétreos de nuestra localidad y adiciones que se encuentran en el mercado.

Para su evaluación se procedió a seguir los siguientes pasos:

1. Selección de los materiales.
2. Diseño de la mezcla para una resistencia de 50 MPa.
3. Adición de microsílíce y superplastificante.
4. Elaboración de la mezcla, preparación de cilindros.
5. Ensayos del concreto endurecido.
6. Análisis de resultados.

CAPITULO VII

7. BIBLIOGRAFÍA

- ✚ ACI 211.4-93 (1998): Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash.
- ✚ ASTM C 172, Muestro de Hormigón Fresco
- ✚ ASTM C 39, Determinación del esfuerzo de Compresión en Especímenes cilíndricos de Concreto.
- ✚ ASTM C 143, Asentamiento en el Concreto Fresco.
- ✚ ASTM C 138, Densidad (masa específica) y Volumen producido de Concreto y Contenido de Aire.
- ✚ ASTM C 469: 02, Método de Ensayo para determinar el Módulo de Elasticidad Estático en Concreto a Compresión.
- ✚ ASTM C 31, Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes en Ensayo de Concreto en la Obra.
- ✚ ASTM C33-03: Standard Specifications for Concrete Aggregates.
- ✚ ASTM C143/C143M-00: Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete.
- ✚ ASTM C618 - 12a Especificación normalizada para Ceniza Volante de Carbón y Puzolana Natural en Crudo o Calcinada para Uso en Concreto
- ✚ Neville A. M. (1999), “Tecnología del Concreto”, 1era. Edición, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- ✚ NTE INEN 152 (2010): Cemento portland. Requisitos
- ✚ NTE INEN 156 (2009): Cementos. Determinación de la densidad.
- ✚ NTE INEN 695 (2010): Áridos. Muestreo.
- ✚ NTE INEN 696 (2011): Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos, fino y grueso.

- ✚ NTE INEN 856 (2010): Áridos. Determinación de la Densidad Relativa (gravedad específica) y Absorción del Árido Fino.
- ✚ NTE INEN 857 (2010): Áridos. Determinación de la Densidad Relativa (gravedad específica) y Absorción del Árido Grueso.
- ✚ NTE INEN 858 (2010): Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el % de Vacíos.
- ✚ NTE INEN 862 (2011): Áridos para Hormigón. Determinación del Contenido Total de Humedad.
- ✚ NTE INEN 1108 (2011): Agua potable. Requisitos.
- ✚ NTE INEN 1573 (2010): Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.
- ✚ NTE INEN 1576 (2011): Hormigón de Cemento Hidráulico. Elaboración y Curado en obra de especímenes para ensayo.
- ✚ NTE INEN 1763 (2010): Hormigón de Cemento Hidráulico. Muestreo.
- ✚ NTE INEN 1855 (2001): Hormigón Premezclado. Requisitos.
- ✚ NTE INEN 2617 (2012): Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.
- ✚ Rivva López Enrique, “Concreto de Alta Resistencia”, 1era. Edición, Instituto de la Construcción y Gerencia, ICG.
- ✚ SIKA, Ecuatoriana S.A. Hoja Técnica. Edición N°3 01-2007. Quito – Ecuador. Editorial Sika Ecuatoriana S.A.

CAPITULO VIII

8. APÉNDICES Y ANEXOS

ANEXO A:

HOJA TÉCNICA DE LA ADICIÓN EN POLVO

“SIKAFUME”

Hoja Técnica
Edición N°3 01-2007
Identificación n° 1072
Versión - 01
SikaFume

SikaFume®

Aditivo en polvo con base a silica-fume

Descripción	SikaFume, es una adición en polvo fino, color gris, con base en microsíllica, que permite aumentar las resistencias mecánicas y químicas de hormigones y morteros endurecidos. Su doble efecto puzolánico y granular, mejora las características de la matriz del hormigón o mortero, disminuyendo la porosidad y creando mediante su reacción con la cal libre, una estructura densa y resistente al ataque de aguas y ambientes agresivos. No contiene cloruros. SikaFume cumple con los requerimientos de la Norma ASTM C-1240
Usos	SikaFume es de gran utilidad cuando se requiere: <ul style="list-style-type: none"> ■ Colocar hormigón bajo agua. ■ Reducir la exudación y la segregación del hormigón. ■ Mejorar la aptitud para el bombeo de hormigones y morteros. ■ Elaborar hormigones resistentes al ataque de sulfatos. ■ Dotar al hormigón de resistencia al ataque químico de aguas y suelos agresivos. ■ Reducir la permeabilidad del hormigón. ■ Mejorar la cohesión y la adherencia al soporte de hormigones y morteros proyectados
Ventajas	SikaFume imparte a la mezcla las siguientes propiedades: <ul style="list-style-type: none"> ■ En el hormigón fresco <ul style="list-style-type: none"> - Evita la segregación, mejora la cohesión y la bombeabilidad de hormigones y morteros, en especial cuando se trabaja con diseños de mezcla carentes de finos. - Reduce el rebote, permite disminuir la cantidad de acelerante y se logran capas de mayor espesor cuando se adiciona a hormigones y morteros proyectados. - Reduce la energía necesaria para bombear hormigones y morteros. Aumenta la adherencia del hormigón con el acero de refuerzo. ■ En el hormigón endurecido <ul style="list-style-type: none"> - Disminuye los picos de temperatura de las mezclas cuando se usa como reemplazo parcial de cemento. - Disminuye la permeabilidad, densifica la matriz de hormigones y morteros y aumenta la compacidad. - Reduce la permeabilidad a gases como el CO₂ y el SO₂ que carbonatan y disgregan el hormigón. - Disminuye apreciablemente la penetración de aguas con cloruros y otras sales. - Reduce notablemente la expansión de hormigón y morteros sometidos a fuerte ataque de sulfatos.



Datos Técnicos	<p>Contenido de SiO₂ mayor al 95%</p> <p>Superficie especificada mayor a 30 m²/g</p> <p>Humedad 3 - 5 % aprox.</p> <p>La humedad del producto, debido a su altísima superficie especificada, puede aumentar, en caso de un inadecuado almacenamiento o de alta humedad relativa en al zona de trabajo. Las normas especifican la humedad sólo en razón a que el producto se utiliza como materia prima para elaborar morteros predosificados, que incorporan cemento y una alta humedad los haría endurecer</p>
Modo de empleo	<p>SikaFume viene listo para ser empleado. Se adiciona a la mezcla con los agregados o con el cemento. Para garantizar la distribución homogénea de la microsilica en la mezcla, debe incrementarse el tiempo de mezclado. Este es el siguiente esquema de mezcla tanto en planta como en la obra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar en la mezcladora los agregados. • Adicionar la cantidad de SikaFume requerida y mezclar por 1 minuto. • Adicionar el cemento y continuar el mezclado hasta los 2 minutos. • Adicionar el agua de amasado con el superplastificante Sikament disuelto en ella, en la dosis requerida para lograr la consistencia deseada de la mezcla. Mezclar por 2 minutos adicionales.
Dosificación	<p>SikaFume se dosifica entre el 3 y el 10% del peso del cemento de la mezcla de acuerdo con los resultados deseados. Debido a que la microsilica es una adición en polvo, muy fina, por su gran superficie específica se genera una mayor demanda de agua, para igual consistencia de la mezcla, por lo tanto debe acompañarse SikaFume con la dosis adecuada de superplastificante Sikament, evitando así elevar la relación agua/cemento. Se recomienda realizar ensayos previos para determinar el diseño óptimo de la mezcla y las dosis requeridas de adiciones y aditivos.</p>
Limitaciones	<p>Proteger el producto de la humedad. Debido a las bajas relaciones a/c característica de los hormigones con microsilica es recomendado el uso de superplastificantes. Para obtener superficies con un acabado eficiente es necesario usar curadores. Se recomienda usar Antisol como curador.</p>
Precauciones	<p>Se debe preveer un excelente curado al momento de utilizar microsilice o SikaFume en los hormigones y morteros. Curar por lo menos durante 7 días, ya que se pueden presentar microfisuras en caso de defectuoso curado. Contiene silice y óxido de hierro. Evite respirar el polvo. Use solamente con ventilación adecuada. Puede causar irritación en la piel, ojos y vías respiratorias. Use gafas de seguridad, guantes de caucho y mascarillas para polvos. En caso de contacto con la piel, lavar la parte afectada con abundante agua y jabón. Para contacto con los ojos lavar con abundante agua durante 15 minutos y consultar un especialista. En caso de derrames accidentales recoger en recipientes adecuados y desecharlos de acuerdo a las regulaciones locales.</p>
Presentación	<p>Fundas de 15 kg.</p>
Almacenamiento	<p>El tiempo de almacenamiento es de 60 meses, protegido de la humedad. Condiciones de almacenamiento: lugar seco y bajo techo.</p>

Códigos R/S
R: 20/36 S: 2/24/25

La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika, respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de ésta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.



Sika Ecuatoriana S.A.
www.sika.com.ec
Guayaquil - km.3 1/2 vía Durán - Tambo PBX 2812700 Fax 2801229
Quito - Panamericana Norte km. 7 1/2. Telefax 2800419 - 2800420
Cuenca - Av. de las Americas y 1º de Mayo Telf. 2856754 Fax 2821122



ANEXO B:
HOJA TÉCNICA DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE
“VISCOCRETE 2100”



Hoja Técnica
Edición N°4 01-2012
Identificación n° 125443
Versión - 01
Sika ViscoCrete 2100

Construcción

Sika® ViscoCrete 2100

Aditivo reductor de agua de alto rango

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 todos los requerimientos de la Norma ASTM C-494. Tipos A y F.
Usos	<ul style="list-style-type: none">■ Sika ViscoCrete 2100 puede ser usado, tanto en hormigón premezclado, así como en prefabricados, adicionado en la planta como un reductor de agua de alto rango, proporciona excelente plasticidad mientras mantiene la trabajabilidad por más de una hora. Los tiempos de fraguado controlados del Sika ViscoCrete 2100 lo hacen ideal para aplicaciones tanto horizontales como verticales.■ Sika ViscoCrete 2100 es ideal para producción de hormigones autocompactados (SCC).
Ventajas	<p>Reductor de agua: Sika ViscoCrete 2100 con pequeñas dosificaciones, se obtienen reducciones de agua entre 10-15% y con altas dosificaciones se pueden lograr reducciones de agua de hasta un 45%. Sika ViscoCrete 2100 es aplicable para todos los niveles de reducción de agua.</p> <p>Alta plasticidad: la acción superplastificante del Sika ViscoCrete 2100 permite obtener altos asentamientos, hormigones fluidos con alto mantenimiento de la trabajabilidad que facilitan la colocación con el mínimo vibrado aún cuando las relaciones agua-cemento sean tan bajas como 0,25 Sika ViscoCrete 2100 plastifica el hormigón dando alta fluidez, pero manteniendo la cohesión, evitando de esta manera sangrado o segregación.</p> <p>Larga trabajabilidad y control del fraguado: Sika ViscoCrete 2100 está formulado para mantener la trabajabilidad por más de una hora, manteniendo los tiempos de fraguado normales.</p> <p>La acción combinada de reductor de agua de alto rango y superplastificante del Sika ViscoCrete 2100, proporciona al hormigón endurecido los siguientes beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Las altas resistencias finales permiten flexibilidad en los diseños de ingeniería y economía en las estructuras.■ Bajas relaciones agua cemento producen hormigones más durables, más densos y menos permeables.■ La alta plasticidad permite reducir los defectos de la superficie del hormigón y mejora la apariencia estética.
Datos Técnicos	
Aspecto	Traslúcido
Densidad	1.1 g/cc aprox.



Sika ViscoCrete 2100 1/2



Construcción

Modo de empleo

Dosis: Las dosis varían de acuerdo al tipo de material usado, condiciones ambientales y a los requerimientos de un proyecto específico. Sika Ecuatoriana recomienda usar dosis entre 0,19% a 0,9% del peso del cemento. Dosis mayores a las recomendadas pueden usarse cuando están especificados materiales, tales como microsilica, condiciones ambientales extremas. Para mayor información comuníquese con el Departamento Técnico de Sika.

Mezclado: Para mejores resultados de superplastificación, adicionar el Sika ViscoCrete 2100 directamente a la mezcla fresca de hormigón en el mixer y dejar mezclándose por lo menos 60 segundos.

El Sika ViscoCrete 2100 también puede adicionarse a la mezcla fresca directamente en la planta al final del ciclo de mezclado.

Combinación con otros aditivos: Sika ViscoCrete 2100 es muy efectivo sólo o combinado con otros aditivos de Sika. Si se usa con ciertos aditivos Sikament puede afectar la plasticidad del hormigón fresco.

Combinación con microsilica: Sika ViscoCrete 2100 es particularmente recomendable para el uso con microsilica por su capacidad de reducción de agua y mayor control de la plasticidad.

Presentación	Tambores de 230 kg y al granel.
Almacenamiento	12 meses en su envase original, bien sellado y bajo techo.
Seguridad	<p>Medidas generales de protección e higiene. Prever una ventilación suficiente o escape de gases en el área de trabajo. Evitar el contacto con los ojos y la piel. Protección preventiva de la piel con pomada protectora. Quitarse inmediatamente la ropa manchada. No fumar, no comer o beber durante el trabajo. Lavarse las manos antes de los descansos. Protección de las manos con guantes de goma de butilo/nitrilo. Protección de los ojos con gafas herméticamente cerradas. Protección corporal.</p> <p>Ecología No verter directamente sobre vertientes de agua o el suelo, actuar de acuerdo a las regulaciones locales.</p> <p>Toxicidad No peligroso.</p> <p>Transporte Mercancia no peligrosa.</p>

La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika, respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de ésta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que surja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.



Sika Ecuatoriana S.A.
 www.sika.com.ec
 Guayaquil - km. 3 1/2 vía Durán - Tambo PBX 2812700 Fax 2801229
 Quito - Panamericana Norte km. 71/2, Telefaz 2800419 - 2800420
 Cuenca - Av. de las Américas y 1ª de Mayo Telefaz 2866754



Sika ViscoCrete 2100 2/2

ANEXO C:
CERTIFICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I

Certificado de Producto				Doc ID:	ACB0-H00-RC28
				Revisión:	6
Autor:	Técnico de Control de Calidad	Revisa:	Coordinador Control de Calidad	Aprueba:	Coordinador Control de Calidad



Cemento Hidráulico para Uso General Tipo GU

El Cemento Holcim Roca fuerte Tipo GU es un cemento hidráulico que se fabrica bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2380. Esta norma establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y los clasifica de acuerdo a sus propiedades específicas.

Especificaciones técnicas

Fecha Reporte: 04-10-2011
 Período de análisis: 01-09-2011 a 01-10-2011

Requisitos Químicos

La composición química para el cemento no está especificada en la NTE INEN 2380, sin embargo los constituyentes individuales molidos y mezclados para producirlo son analizados.

Requisitos Físicos

	INEN 2380	Valor
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.80	-0.038
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	222
Inicial, no más de, minutos	420	323
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	A	3.0
Resistencia a la Compresión, mínimo MPa		
1 día	A	8
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	31
Expansión en barras de mortero 14 días, % max.	0.02	0.006



NOTAS:

1. La información que consta en el certificado corresponde al promedio de los datos obtenidos en el período indicado. Los datos son del cemento típico despachado por Holcim; los despachos individuales pueden variar.
2. La resistencia a 28 días corresponde al promedio del mes anterior
3. (A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.
4. (ND) Resultado del ensayo no disponible para el período de análisis indicado.

ALMACENAMIENTO:

Almacenar el cemento en ambientes ventilados, sin humedad y cambios bruscos de temperatura. Se recomienda acopios de no más de 10 sacos, aislados del suelo y separados de las paredes. Para cemento a granel se debe contar en obra con silos de al menos 30 toneladas (capacidad promedio de camiones graneleros).

Planta Latacunga Barrio San Rafael Vía a San Juan Servicio al cliente: 04-2871900
 Dirección Latacunga, Ecuador Extensiones: 1130,1131
 Teléfono 593 3 281773 1132,1112

www.holcim.com.ec



Myrian Patricia Moreno M.
 Coordinador de Control de Calidad
 Holcim Ecuador S.A., Planta Guayaquil

ANEXO D:
RESULTADO DEL ENSAYO A COMPRESIÓN
DEL CONCRETO PROPUESTO

N° Probeta	Codificación de Muestra	f'c (kg/cm ²)	Asentamiento (cm)	Superplastificante (%)	Dimensiones Cilindro							Fecha Muestra	Fecha Ensayo	Edad (días)	Peso (kg)	Carga Máxima (N)	Tipo de Falla	L/D	Área (mm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Densidad (kg/m ³)
					D1 (mm)	D2 (mm)	Dpromedio (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	Lpromedio (mm)										
1	M1 3%	500	16,0	1,60	152,50	152,25	152,38	302	301	302	301,67	15/04/2013	22/04/2013	7	12,831	803707,0	2	1,98	18235,49	44,07	2332,47
2	M2 3%	500	16,0	1,60	152,20	152,35	152,28	306	305	307	306,00	15/04/2013	22/04/2013	7	13,098	830514,1	3	2,01	18211,56	45,60	2350,37
3	M3 3%	500	16,0	1,60	152,00	152,43	152,22	304	304	306	304,67	15/04/2013	22/04/2013	7	13,044	871479,6	2	2,00	18197,21	47,89	2352,78
4	M4 3%	500	16,0	1,60	152,45	152,28	152,37	304	304	303	303,67	15/04/2013	22/04/2013	7	12,885	830101,2	2	1,99	18233,09	45,53	2327,16
														7							
5	M5 3%	500	16,0	1,60	152,25	152,36	152,31	305	305	306	305,33	15/04/2013	29/04/2013	14	13,039	918588,2		2,00	18218,73	50,42	2343,97
6	M6 3%	500	16,0	1,60	151,45	151,20	151,33	303	302	303	302,67	15/04/2013	29/04/2013	14	12,645	897751,0		2,00	17985,03	49,92	2322,97
7	M7 3%	500	16,0	1,60	151,18	151,05	151,12	305	304	306	305,00	15/04/2013	29/04/2013	14	12,646	898105,8		2,02	17935,15	50,08	2311,79
8	M8 3%	500	16,0	1,60	151,25	151,46	151,36	301	303	303	302,33	15/04/2013	29/04/2013	14	12,923	876559,0		2,00	17992,17	48,72	2375,71
														14							
9	M9 3%	500	16,0	1,60	152,70	152,45	152,58	305	304	300	303,10	15/04/2013	06/05/2013	21	12,932	1019687,0	3	1,99	18283,39	55,77	2333,58
10	M10 3%	500	16,0	1,60	152,34	152,10	152,22	300	303	300	301,07	15/04/2013	06/05/2013	21	12,712	991524,8	3	1,98	18198,40	54,48	2320,16
11	M11 3%	500	16,0	1,60	152,50	153,00	152,75	306	307	301	304,50	15/04/2013	06/05/2013	21	12,599	998988,5	2	1,99	18325,35	54,51	2257,86
12	M12 3%	500	16,0	1,60	152,60	153,00	152,80	306	306	301	304,20	15/04/2013	06/05/2013	21	13,014	1011392,1	3	1,99	18337,35	55,15	2333,00
														21						54,98	
13	M13 3%	500	16,0	1,60	152,50	151,90	152,20	304	304	305	304,33	15/04/2013	13/05/2013	28	13,083	1041344,0	2	2,00	18193,62	57,24	2362,86
14	M14 3%	500	16,0	1,60	152,50	152,00	152,25	306	307	307	306,67	15/04/2013	13/05/2013	28	13,139	1016795,0	3	2,01	18205,58	55,85	2353,38
15	M15 3%	500	16,0	1,60	152,60	152,50	152,55	306	306	306	306,00	15/04/2013	13/05/2013	28	13,007	1041656,0	2	2,01	18277,40	56,99	2325,63
16	M16 3%	500	16,0	1,60	152,80	152,20	152,50	305	307	305	305,67	15/04/2013	13/05/2013	28	13,112	1023964,3	2	2,00	18265,42	56,06	2348,50
17	M17 3%	500	16,0	1,60	152,00	152,00	152,00	307	306	307	306,67	15/04/2013	13/05/2013	28	13,171	1010647,8	2	2,02	18145,84	55,70	2366,87
18	M18 3%	500	16,0	1,60	152,20	152,00	152,10	305	306	307	306,00	15/04/2013	13/05/2013	28	13,064	1076688,0	2	2,01	18169,72	59,26	2349,67
19	M19 3%	500	16,0	1,60	152,30	152,20	152,25	306	306	307	306,33	15/04/2013	13/05/2013	28	13,050	1063730,0	3	2,01	18205,58	58,43	2339,98
20	M20 3%	500	16,0	1,60	152,00	152,00	152,00	306	305	305	305,33	15/04/2013	13/05/2013	28	13,187	1016979,0	3	2,01	18145,84	56,04	2380,10
21	M21 3%	500	16,0	1,60	152,00	152,00	152,00	307	306	306	306,33	15/04/2013	13/05/2013	28	13,097	1011345,0	3	2,02	18145,84	55,73	2356,14
22	M22 3%	500	16,0	1,60	152,20	152,00	152,10	305	306	306	305,67	15/04/2013	13/05/2013	28	13,014	1053825,0	3	2,01	18169,72	58,00	2343,23

**ANEXO E:
REGISTRO FOTOGRÁFICO**



Figura 22: Obtención de las propiedades del agregado fino



Figura 23: Obtención de las propiedades del agregado grueso



Figura 24: Obtención del peso específico del cemento



Figura 25: Materiales empleados en la elaboración del concreto



Figura 26: Materiales empleados en la elaboración del concreto



Figura 27: Elaboración del concreto de alta resistencia



Figura 28: Asentamiento del concreto de alta resistencia



Figura 29: Toma de muestras del concreto de alta resistencia



Figura 30: Toma de muestras del concreto de alta resistencia para determinar la densidad



Figura 31: Tanque de curado



Figura 32: Ensayo a compresión de los especímenes





Figura 33: Diferente falla de los especímenes



Figura 34: Ensayo para determinar el módulo de elasticidad