



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE HORMIGONES FLUIDOS, ESTABLES Y
DE ALTA RESISTENCIA PARA DIFERENTES PROBLEMAS EN LA
INGENIERÍA CIVIL”**

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIEROS CIVILES

Presentado por:

KAREN JULIETH RUBIO CHANG

JULIO ANDRÉS RUBIO ESPINOZA

GUAYAQUIL–ECUADOR

2017

DEDICATORIA

A Dios y a la Mater por darme la fuerza espiritual para alcanzar mis metas.

A mis padres, por su amor, apoyo confianza y esfuerzos para la familia.

A mis hermanos por los sacrificios que han hecho por mí y sobrinos por ser la fuente de inspiración.

A mis profesores, por sus enseñanzas tanto académicas como personales.

A todas aquellas personas que supieron darme la mano, durante mi formación superior y creyeron en mí.

Karen Rubio Chang

DEDICATORIA

A Dios por ser la luz que ilumina mi camino.

A mi madre por su gran misión de sacarme adelante y a mi padre que desde el cielo me guía y me acompaña.

A mis familiares, profesores y amigos por su apoyo incondicional.

A mis abuelitos Víctor, Lucrecia y Alejandro, quienes desde el cielo me acompañan y a mi querida abuelita Reinita.

Julio Rubio Espinoza

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios y a la Mater por ayudarnos a superar nuestros retos. A nuestras familias, por ser las personas incondicionales en nuestras vidas.

Al Ph.D. Hugo Egüez, Ph.D. Miguel Chávez e Ing. Daniel Falquéz, por su valioso apoyo, paciencia y dedicación; al personal del CTH, y a todas las empresas e instituciones que de algún modo ayudaron para el desarrollo de la investigación hasta el final.

Karen Julieth Rubio Chang

Julio Andrés Rubio Espinoza

TRIBUNAL DEL PROYECTO

Ing. Miguel Ángel Chávez Moncayo MSc. PhD.
DIRECTOR DE MATERIA INTEGRADORA

MSc. Alby del Pilar Aguilar Pesantes.
MIEMBRO EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL)

Karen Julieth Rubio Chang

Julio Andrés Rubio Espinoza

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal describir la importancia, y comportamiento de los hormigones de alta resistencia con polvos reactivos, elaborados a partir de materiales obtenidos en la región circundante de la ciudad de Guayaquil, por lo que han permitido realizar dosificaciones que satisfagan las características de un hormigón de alto desempeño (HAD).

Se recomienda el uso de los materiales no convencionales en el hormigón, tales como la arena silícica, y el uso del cemento Portland Tipo 1, así también el uso de fibras de acero para brindar una mayor ductilidad, con el objetivo de cumplir los requisitos necesarios para ser usado en elementos estructurales y viales, al ser sometidos a compresión, tracción indirecta, flexión, ultrasonido.

En este trabajo de investigación, muestra las ventajas y procedimientos a seguir para obtener hormigones de alto desempeño, de acuerdo a las normas internacionales existentes para este tipo de hormigones, permitiendo así al

lector a familiarizarse con el uso de los polvos reactivos en la elaboración de hormigones de alta resistencia para su desarrollo en un futuro en el país.

Finalmente, el proyecto de investigación cuenta con los resultados obtenidos de los ensayos de control de calidad tanto en estado fresco y endurecido de las mezclas de hormigón propuestas, una tabla de criterios, el cual permite obtener la mejor alternativa, juntos a sus ventajas, estudio ambiental, análisis de precios unitarios y respectivas conclusiones.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
TRIBUNAL DEL PROYECTO	III
RESUMEN	III
ABREVIATURAS	III
SIMBOLOGÍA	III
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	III
CAPÍTULO 1.....	4
GENERALIDADES	4
1.1 Introducción	5
1.2 Justificación	7
1.3 Aplicaciones prácticas del Hormigón de Ultra Alto Desempeño (UHPC) alrededor del mundo.....	11
1.3.1 Hormigón Estructural.....	11

1.3.1.1 Puentes de Hormigón de Alto Desempeño.....	12
1.3.1.2 Edificaciones de Hormigón de Alto Desempeño	14
1.3.1.3 Hormigón Prefabricado.....	16
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo General	18
1.4.2 Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO 2.....	20
CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN DISEÑADO.....	20
2.1 Definición.....	21
2.2 Ventajas del Diseño.....	23
2.2.1 Trabajabilidad.....	23
2.2.2 Altas Resistencias Iniciales	24
2.2.3 Durabilidad	24
2.2.4 Módulo Elástico Elevado	25
2.2.5 Estabilidad Volumétrica	25
2.2.6 Reducción en los Costos.....	25
2.2.6.1 Reducción del Costo de Mantenimiento	26
2.2.6.2 Reducción de la Sección de Elementos Estructurales.....	27
2.2.6.3 Vida de Servicio Extendida.....	27
2.2.7 Competitividad.....	27
2.2.7.1 Valor.....	28
2.2.7.2 Calidad.....	28

2.2.7.3 Eficiencia en la Construcción	28
2.2.8 Estética en el Hormigón	28
2.2.8.1 Distinción de la Arquitectura	29
2.2.8.2 Distingue a la Comunidad	29
2.2.8.3 Promueve el Desarrollo Económico y Turístico	29
2.3 Propiedades	29
2.3.1 Propiedades en Estado Fresco	30
2.3.1.1 Trabajabilidad	31
2.3.1.2 Contenido de Aire	34
2.3.2 Propiedades Mecánicas	35
2.3.2.1 Resistencia a la Compresión	35
2.3.2.2 Resistencia a la Flexión	37
2.3.2.3 Resistencia a la Tracción Indirecta	39
2.3.2.4 Módulo de Elasticidad Estático	40
2.3.2.5 Módulo de elasticidad dinámica y relación de Poisson.	42
2.3.2.6 Resistencia a los Sulfatos	44
2.3.2.7 Ultrasonido	45
2.4 Tipos de UHPC	46
2.5 Perspectivas de desarrollo de los concretos de alto desempeño en el Ecuador.	49

CAPÍTULO 3.....	53
MATERIALES.....	53
3.1 Cemento.....	54
3.1.1 Definición del Cemento	54
3.1.2 Cemento Portland	55
3.1.3 Cemento Portland Puzolánico	56
3.1.4 Cemento Portland Tipo GU	57
3.1.5 Cemento Portland Tipo HE.....	57
3.2 Agua	58
3.3 Agregado fino	61
3.3.1 Arena de río lavada	61
3.3.2 Arena de Cuarzo Silícica	62
3.4 Aditivos	64
3.4.1 Aditivo Superplastificantes	65
3.5 Adiciones	66
3.5.1 Polvo de Cuarzo.....	66
3.5.2 Microsílice	68
3.5.3 Filler Calcáreo	70
3.6 Análisis Granulométrico de las Arenas.....	71
CAPÍTULO 4.....	73
METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL HORMIGÓN.....	73
4.1 Introducción	74

4.2 Metodología de Trabajo.....	74
4.3 Consideraciones de diseño	76
4.4 Dosificación de Hormigones de Ultra Alto Desempeño.	78
4.4.1 Procedimiento para la proporción adecuada de los componentes del Hormigón Fluido, Estable y Alta Resistencia.....	81
4.5 Elaboración de muestras	84
4.6 Ensayos experimentales.....	87
4.6.1 Ensayos en estado fresco	87
4.6.1.1 Trabajabilidad	87
4.6.1.2 Contenido de Aire	89
4.6.2 Ensayos en estado endurecido	90
4.6.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión.....	90
4.6.2.2 Ensayo de Resistencia a la Flexión	92
4.6.2.3 Ensayo de Tracción por Compresión Diametral.....	93
4.6.2.4 Ensayo de Módulo de Elasticidad	94
4.6.2.5 Ensayo de Ultrasonido	95
CAPÍTULO 5.....	97
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	97
5.1 Dosificaciones Finales	98
5.2 Resultados del Control de Calidad en Estado Fresco.	100
5.3 Resultados de control de calidad del hormigón en estado endurecido.	102
5.3.1 Resistencia a la Compresión.....	102

5.3.2 Resistencia de Compresión entre la Arena de Ottawa y Arena Silícea de la Provincia del Oro	104
5.3.3 Ultrasonido	106
5.3.4 Módulo de Elasticidad Dinámico y Relación de Poisson	107
5.3.5 Resistencia a la Flexión	108
5.3.6 Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.....	110
CAPÍTULO 6.....	111
ESTUDIO Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.....	111
6.1 Antecedentes.....	112
6.2 Objetivos.....	113
6.2.1 Objetivo General	113
6.2.2 Objetivos Específicos	113
6.3 Descripción General Del Área De Estudio.....	114
6.3.1 Legislación y Estándares Ambientales.....	114
6.4 Procedimientos Generales Que Se Deben Seguir Según La Constitución De La República	115
6.5 Descripción De La Línea Base	116
6.6 Actividades A Evaluar.....	117
6.7 Evaluación Ambiental	117
6.7.1 Matriz Intensidad.....	118
6.7.2 Matriz Extensión.....	119
6.7.3 Matriz Duración	120

6.7.4 Matriz Signo	121
6.7.5 Matriz Magnitud:.....	122
6.7.6 Matriz Reversibilidad	123
6.7.7 Matriz Riesgo	124
6.7.8 Matriz Valoración De Impacto Ambiental (V.I.A)	125
6.7.9 Rango De Significancia De La Matriz V.I.A	126
6.8 Plan De Mitigación De Impactos.....	127
6.8.1 Encargado De Producción.....	127
6.8.2 Obreros	128
6.8.3 Áreas De Alto Riesgo	129
6.9 Descripción De Actividades En Fase De Producción:	130
6.9.1 Transporte De Materiales.....	130
6.9.2 Tamizado Del Agregado Fino.....	130
6.9.3 Molienda Del Agregado Fino	131
6.9.4 Almacenamiento De Materiales.....	132
6.9.5 Mezclado De Materiales	133
6.9.6 Generación De Desechos Sólidos.....	133
6.9.7 Generación De Aguas Residuales	134
CAPÍTULO 7.....	136
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y RESTRICCIONES.....	136
7.1 Análisis de las dosificaciones propuestas.....	137
7.1.1 Descripción de la mezcla No. 1	139

7.1.2 Alternativa de la mezcla No. 2:.....	139
7.1.3 Descripción de la mezcla No.3:.....	140
7.2 Calificación de alternativas según el nivel de importancia.....	141
7.3 Restricciones en la Producción de Hormigones	141
7.3.1 Disponibilidad de Arena de Cuarzo/Silícica.....	141
7.3.2 Trabajo de pulverización para la Obtención de Polvos Reactivos....	142
7.3.3 Contaminación de Ríos donde se Encuentra la Arena	143
7.3.4 Falta de Información de los UHPC a Nivel Nacional y su Aplicación	144
7.3.5 Fragilidad que pueden alcanzar los Hormigones	145
7.3.6 Elevadas Temperatura afectan de manera directa al Hormigón	146
CAPÍTULO 8.....	147
ANÁLISIS DE COSTOS	147
8.1 Costo Referencial De Materiales	148
8.1.1 Material Cementante	148
8.1.2 Agregado Fino.....	149
8.1.3 Polvos Reactivos.....	150
8.1.4 Aditivo	151
8.1.5 Agua Potable.....	151
8.2 Costo Referencial por Diseño.....	152
CAPÍTULO 9.....	155
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	155

9.1 Conclusiones.....	156
9.2 Recomendaciones.....	158
9.3 Propuestas de investigación.....	160
ANEXOS.....	162
BIBLIOGRAFÍA.....	201

ABREVIATURAS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CTH	Centro Técnico del Hormigón
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MF	Módulo de finura
MR	Módulo de rotura
HFEAR	Hormigón Fluido, Estable y de Alta Resistencia
UPHC	Ultra High Performance Concrete
HAD	Hormigón de Alto Desempeño
HUAR	Hormigón Ultra Alta Resistencia
HC	Hormigón Convencional
HS	Humo de Sílice
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
VMA	Aditivo Modulador de Viscosidad
a/m.c	Relación agua material cementicio
m.c	Material cementicio

SIMBOLOGÍA

D _{ss}	Densidad saturada superficialmente seca
E	Módulo de elasticidad
f _c	Resistencia a la compresión
f _{ct}	Resistencia a la tracción
g/cc	Gramos por centímetro cúbicos
GPa	Giga Pascal
Kg/m ³	Kilogramos por metro cúbico
m	metro
m ² /Kg	Metros cuadrados por kilogramos
μm	Micrómetro
mm	Milímetro
MPa	Mega pascal
s	Segundo
SSS	Saturado superficialmente seco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Pasarela del HMAR sobre el barranco de las ovejas, en España	13
Figura 1.2 Planta inferior de las Torres Petronas.....	16
Figura 1.3 Sistema de armadura UHPFRC postensada de segmentos prefabricados con una sección de cajón abierto	18
Figura 2.1 Componentes del HFEAR.....	22
Figura 2.2 Tipo de falla cónica en hormigones de alta resistencia.....	36
Figura 2.3 Diagrama de momento de flexión por las cargas en el punto medio	38
Figura 2.4 Procedimiento de prueba de compresión diametral.....	40
Figura 2.5 Familia de los hormigones especiales	47
Figura 2.6 Diferentes familias de hormigones en el entorno de UHPFRC ..	49
Figura 3.1 Arena de río lavada (Río BuluBulu).....	62
Figura 3.2 Arena de Cuarzo / Silícica.....	64
Figura 3.3 Aditivo reductor de agua de alto rango	66
Figura 3.4 Polvo de Cuarzo.....	67
Figura 3.5 Micro Sílice -SIKA FUME	69
Figura 3.6 Filler Calcáreo - Polvo de Caliza.....	71

Figura 3.7 Tamizador mecánico para arenas..... 72

Figura 4.1 Metodología de trabajo en el presente proyecto	75
Figura 4.2 Características principales de desempeño del hormigón.....	76
Figura 4.3 Relación entre los factores que influyen en el diseño del hormigón	78
Figura 4.4 Diagrama de flujo para la dosificación final de la propuesta del proyecto.....	83
Figura 4.5 Procedimiento para la elaboración de las muestras.....	84
Figura 4.6 Mezcladora HOBART.....	85
Figura 4.7 Mesa de Flujo	88
Figura 4.8 Equipos a utilizar para determinar el contenido de aire	90
Figura 4.9 Ensayo a la compresión en cubos de 50x50 mm.....	91
Figura 4.10 Ensayo a la flexión en vigas de 40x40x160 mm	92
Figura 4.11 Ensayo a la compresión diametral en cilindros de 100x200 mm	94
Figura 4.12 Ensayo para determinación del módulo de elasticidad.	95
Figura 4.13 Equipo para realizar el ensayo de ultrasonido	96
Figura 5.1 Curva de desarrollo de la resistencia a la compresión en cubos.	103
Figura 5.2 Resistencia s a la compresión de la mezcla 1 con arena silícica de la Prov. de Oro y La arena de Ottawa.....	105
Figura 5.3 Curva de desarrollo de la velocidad ultrasónica Vs. Edad	106
Figura 5.4 Curva de desarrollo de la Resistencia a la flexión.....	109

Figura 5.5 Curva de desarrollo de la tracción indirecta 110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Grupos de investigación internacional en UHPC más relevantes.....	9
Tabla II Puentes representativos construidos con UHPC según la literatura.	13
Tabla III. Los 20 países con mayor cantidad de edificaciones de gran altura	15
Tabla IV Parámetros que influyen en las propiedades reológicas.	31
Tabla V Tabla de flujo.....	34
Tabla VI. Clasificación del concreto según su velocidad ultrasónica.	46
Tabla VII. Clasificación de las familias de los UHPC.....	48
Tabla VIII Composición Típica del Cemento Portland	56
Tabla IX Límites de impurezas permitidos al agua de mezcla.....	60
Tabla X Proporciones de las mezclas de UHPC en peso de cemento en la literatura.....	80
Tabla XI Rango de variación a utilizar.	81
Tabla XII Resumen de los parámetros para el proporcionamiento.....	82
Tabla XIII Dosificaciones finales para los HFEAR en el presente proyecto..	99
Tabla XIV Características De Mezclado Para Los HFEAR En El Presente Proyecto.....	100

Tabla XV Resultados de resistencias a compresión..... 102

Tabla XVI Cálculo del módulo elástico a partir de la velocidad ultrasónica. 108

Tabla XVII Resultados de resistencias a la flexión de vigas de 40x40x160 mm	109
Tabla XVIII Resultados de resistencia de tracción diametral.....	110
Tabla XIX Matriz De Intensidad	118
Tabla XX Matriz De Extensión.....	119
Tabla XXI Matriz De Duración	120
Tabla XXII Matriz Signo	121
Tabla XXIII Matriz Magnitud	122
Tabla XXIV Matriz Reversibilidad	123
Tabla XXV Matriz Riesgo	124
Tabla XXVI Matriz De Valoración De Impacto Ambiental	125
Tabla XXVII Matriz V.I.A - Cualitativamente	126
Tabla XXVIII Análisis de Alternativas	141
Tabla XXIX Costo referencial de cemento Portlando tipo 1.....	148
Tabla XXX Costo referencial del Cemento Portland HE.....	148
Tabla XXXI Costo referencial del cemento Portland Tipo GU	149
Tabla XXXII Costo referencial de la arena silícica.....	149
Tabla XXXIII Costo referencial de la arena de rio lavada	149
Tabla XXXIV Costo referencial de la arena de roca caliza triturada	150
Tabla XXXV Costo referencial de la microsílíce	150
Tabla XXXVI Costo referencial del Filler Calcaréo	150
Tabla XXXVII Costo referencial del polvo de cuarzo	151

Tabla XXXVIII Costo referencial del ViscoCrete.....	151
Tabla XXXIX Costo referencial del agua potable.....	151
Tabla XL Costo referencial de la mezcla No.1	152
Tabla XLI Costo referencial de la mezcla No. 2	153
Tabla XLII Costo referencial de la mezcla No. 3	154

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

En la actualidad, el Hormigón de Ultra Alta Resistencia (HUAR), a pesar de ser un material generalmente no utilizado en muchos países, ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas. Los hormigones de alta resistencia tienen múltiples aplicaciones en la ingeniería civil, debido a sus características de alto desempeño como su alta resistencia a la compresión, la cual supera los 100 MPa y su baja relación a/m.c.

Inicialmente en el presente trabajo se plantearon diferentes propuestas de diseño de morteros fluidos con una estabilidad óptima, los cuales cumplan con los requisitos del “ACI MORTAR WORKABILITY COMPETITION” y que sea capaz de superar los 90 MPa de resistencia promedio a la compresión, este se lo desarrollaría para utilizarlos en el anclaje de elementos metálicos sobre muros de hormigón, en inyecciones para pernos de anclaje, reparaciones de elementos prefabricados, rellenos de grietas; bajo placas de apoyo y refuerzos de estructuras.

A medida que transcurría el tiempo y a los resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio, se determinó que efectivamente el diseño realizado era un Hormigón Fluido, Estable y de Alta Resistencia (HFEAR), el cual es capaz de fluir y compactarse bajo su propio peso. Este tipo de hormigón, que no contiene agregado grueso es cohesivo y capaz de llenar

los espacios vacíos de cualquier tamaño, sin segregarse ni exudar. Tiene una alta resistencia a la compresión, una baja porosidad y un empaquetamiento óptimo entre partículas.

Este hormigón es de gran utilidad para ser vertido en espacios de difícil acceso. No hace falta el uso de vibradores para la compactación del mismo. Se puede emplear en encofrados de complicada geometría, en puentes peatonales de estructuras de hormigón armado que requieran altas resistencias a edades tempranas. Por sus características también puede ser utilizado para el almacenamiento de desechos nucleares.

Para la parte experimental del proyecto se tiene en cuenta la tecnología de los últimos avances en productos para hormigón con aditivos especiales y de nueva generación, que permiten reducir el agua de la mezcla, y de adición de minerales dando al hormigón un mejor empaquetamiento entre partículas. Esto último se logra con una adecuada selección granulométrica y de esta forma obtener una dosificación especial que presente una serie de características que la hace especialmente interesante desde el punto de vista de aplicación en la construcción.

Finalmente se analizarán los resultados obtenidos durante los ensayos de control de calidad en estado fresco y endurecido, para conocer sus propiedades reológicas y mecánicas respectivamente.

1.2 Justificación

En la actualidad es de mucha importancia determinar las propiedades del hormigón con el objetivo de obtener altas resistencias iniciales y finales, mayor trabajabilidad, un tiempo de vida útil prolongado con un mínimo en mantenimiento, la reducción de impactos sobre el medio ambiente; optimización del tiempo, mano de obra y la reducción de costos durante el proceso de fundición.

El presente trabajo es la combinación de dos tipos de “Hormigones de Alto Desempeño” o también conocidos como “Ultra High Performance Concrete” (UHPC), por lo que se entiende como el desarrollo de un nuevo producto con diferentes propiedades mecánicas, físicas y químicas, cuyas mejoras lo diferencian del “Hormigón Convencional” (HC), en la presente propuesta se busca obtener la combinación óptima entre un “Hormigón Autocompactable” y un “Hormigón de Polvo Reactivo”, en donde las soluciones que se proponen permiten múltiples aplicaciones en la ingeniería civil, en especial para grandes obras en el país.

Es importante señalar que, las primeras investigaciones y desarrollos de los “Hormigones de Ultra Alto Desempeño” (UHPC), iniciaron alrededor de los años 1980 en Francia, los cuales fueron elaborados por el deterioro de varios puentes y carreteras de hormigón (Camacho Torregrosa, 2013), y en Canadá el primer puente de UHPC fue construido en 1997 a partir de un prefabricado con armadura especial postensada (Cordero Morrobel, 2015).

En los últimos años a nivel mundial ha aparecido un incremento de la producción tecnológica de los hormigones, convirtiéndose en una de las líneas de investigación más prolíferas en el ámbito de la arquitectura y de la ingeniería civil. El gran propósito es generar normas técnicas confiables que pudieran desarrollarse y generar grandes beneficios.

En la [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#) se presenta los grupos de investigación que actualmente trabajan en este tema, a nivel mundial.

Tabla I. Grupos de investigación internacional en UHPC más relevantes

Grupos de Investigación	País	Objetivos y Contribuciones
FIB-Task Group 8.6	Suiza	- Establecer códigos de diseño de las estructuras en UHPC.
AFGC Working Group on UHPFRC	Francia	- Crear recomendaciones internacionales para el cálculo del UHPC cuya nueva versión estará disponible en un corto período de tiempo
University of Kassel	Alemania	<ul style="list-style-type: none"> • Coordinar el programa de investigación promovido por la German Research Foundation (DFG) en UHPC. • Llevar a cabo Congresos Internacionales en UHPC.
Delft University of Technology	Holanda	• Dirigir Tesis Doctorales en el ámbito del UHPC además de aplicaciones innovadoras que han puesto de manifiesto las propiedades durables del material.
Graz University of Technology	Austria	• Dar a conocer las aplicaciones estructurales en UHPC
Federal Highway Administration	EEUU	<ul style="list-style-type: none"> • Crear un plan para la mejora de la vida útil de sus estructuras para el transporte y disminuir costos de mantenimiento mediante el uso del UHPC • Hacer del UHPC un material fiable, comúnmente disponible, económicamente viable y que se aplique con regularidad.
University of Michigan	EEUU	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuir en la creación del ACI
Michigan Technological University		
University of Connecticut		
Lowa State University		
Virginia Tech University		
COMMITTEE 239 UHPC		
Universidad Politécnica de Valencia	España	• Dirigir tesis de maestrías en el ámbito del UHPC además de aplicaciones innovadoras en su país.

Fuente: Cordero Morrobel, 2015; Lopéz Martinez, 2012

Cabe mencionar que, en el continente asiático, en especial Japón ha tenido una gran acogida el uso del UHPC, fundamentalmente en puentes. Esto ha permitido que se generen recomendaciones que impulsen su desarrollo. La Universidad de Tokio y la empresa Taisei Corporation son las principales involucradas en el tema, además existen investigaciones inglesas, alemanas y otras australianas.

En el Ecuador a pesar de que existe poca información respecto a estas tecnologías, las universidades tales como: San Francisco de Quito, Estatal de Guayaquil y Escuela Superior Politécnica del Litoral, han realizado investigaciones con diferentes materiales locales para el hormigón de más de 90 MPa. Estos emprendimientos se han desarrollado gracias a las competencias internacionales que organiza el American Concrete Insitute, en conjunto con el Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón, instituciones que motivan el interés a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías en la construcción.

1.3 Aplicaciones prácticas del Hormigón de Ultra Alto Desempeño (UHPC) alrededor del mundo

Los UHPC pueden ser aplicados en obras de todo tipo, ya sea para elementos prefabricados, muros y losas de edificios, pisos industriales, estanques, presas, túneles, etc.

En la actualidad no se puede hablar de una actualización sistemática y exhaustiva del HFEAR, pero si existen referencia de aplicaciones pioneras de este tipo de hormigones, principalmente en países desarrollados como Estados Unidos, Japón, países europeos como en España y en Francia, hasta en los Emiratos Árabes, donde se realizaron las primeras experiencias.

A continuación, se indican algunas de las aplicaciones más significativas.

1.3.1 Hormigón Estructural

Con el fin de resolver de manera más eficiente los elementos estructurales en edificaciones más altas, y en puentes a nivel mundial, por los que sus requerimientos de resistencia han aumentado.

1.3.1.1 Puentes de Hormigón de Alto Desempeño

En esta sección se describe la ventaja del uso del hormigón en estructuras como puentes o vías de comunicación, el cual tomamos como ejemplo Norteamérica, donde según evaluaciones llevadas a cabo desde 1950, se demostró que un 17% de los puentes de acero eran considerados “estructuralmente deficientes”, mientras que los puentes de hormigón armado pretensado poseían un 4% a 7% dentro de esta denominación.

Por lo que el hormigón diseñado forma parte de los Hormigones de Alto Desempeño (HAD); el cual ofrece al propietario, ingeniero diseñador y constructor muchas ventajas las cuales serán descritas en el Capítulo 2 sobre otros materiales en comparación de un hormigón de uso convencional.

A continuación, se detalla en la Tabla II que denota los puentes diseñados con hormigones de ultra alta resistencia y su lugar de construcción.

Tabla II Puentes representativos construidos con UHPC según la literatura.

No.	Fuente	Uso	Luz	País	Año
1	(Portugal, 2007)	Puente Sunshine Skyway	366 m	USA	1987
2	(Kosmatka, 2004)	Puente Peatonal de Sherbrooke	60 m	Canada	1997
3	(Portugal Barriga, 2007)	Puente Happy Hollow creek, Tennessee	358 m	USA	1997
4		Puente Confederación	13 km	Canadá	1997
5	(Espinoza, 2010)	Puente Bourg Les Valence	20 m	Francia	2000-2001
6	(Ordoñez Angel, 2009)	Puente de la Paz	430 m	Corea del Sur	2002
7	(Fernandez, 2005)	Puente Sakata Mirai	50 m	Japón	2002
8	(Cordero Morrobel, 2015)	Puente Gärtnerplatz	133 m	Alemania	2007
9	(Dywidag-Systems International, 2016)	Wild Bridge	157 m	Austria	2010
10	(Serna, 2014)	Pasarela del Barranco de las Ovejas	44,40 m	España	2014

**Figura 0.1** Pasarela del HMAR sobre el barranco de las ovejas, en España

Fuente: Google

1.3.1.2 Edificaciones de Hormigón de Alto Desempeño

En esta sección se describe las ventajas obtenidas en estructuras de gran altura, la cual se ha difundido a nivel mundial, por lo que sus requerimientos de resistencia han aumentado, por lo que actualmente existen más de 15000 edificios altos en todo el mundo.

Sin embargo, como se observa en la Tabla III, Norteamérica es el país donde se encuentra la mayor cantidad de estos; es importante destacar que el 25% de estos edificios fueron construidos con hormigón, sin embargo, en los últimos años la tendencia de construir edificios con este tipo de hormigones ha aumentado en un 50% del total de las edificaciones de gran altura.

Para la construcción de edificios muy altos empleando hormigón, es de mucha importancia el uso de nuevas tecnologías que permitan aumentar la resistencia a la compresión del hormigón, con la finalidad de disminuir las secciones de los elementos estructurales y el acortamiento debido a la contracción de la longitud de los elementos verticales; así mismo aumentar el módulo de elasticidad y

disminuir los desplazamientos laterales bajos fuerzas de viento y sismo.

Tabla III. Los 20 países con mayor cantidad de edificaciones de gran altura

No.	País	Población	Edificios
1	Estados Unidos	292,197,695	6,783
2	Canadá	31,714,637	2,07
3	China	1,295,330,000	1,861
4	Reino Unido	58,789,194	1,134
5	Alemania	82,558,000	711
6	Netherlands	16,234,219	430
7	Australia	19,485,300	425
8	Brasil	169,799,170	390
9	Rusia	145,181,900	381
10	Turquía	65,293,000	288
11	Japón	127,291,000	269
12	Malasia	20,932,901	250
13	México	97,483,412	236
14	África del Sur	40,583,611	225
15	España	40,847,371	217
16	Corea del Sur	46,416,796	197
17	Austria	8,032,926	192
18	Nueva Zelanda	4,038,671	185
19	EAU	2,411,000	181
20	Italia	56,995,744	163

Fuente: Portugal Barriga, 2007

Un especial ejemplo constituye las Torres Petronas en Kuala Lumpur cuyo hormigón fue esencial para el éxito del diseño de este rascacielos, el hormigón permitió núcleos verticales y columnas económicas y de tamaños razonables, salvando espacio rentable. Además de la construcción usando

relativamente equipo ligero y conexiones simplificadas en las juntas de difícil geometría.

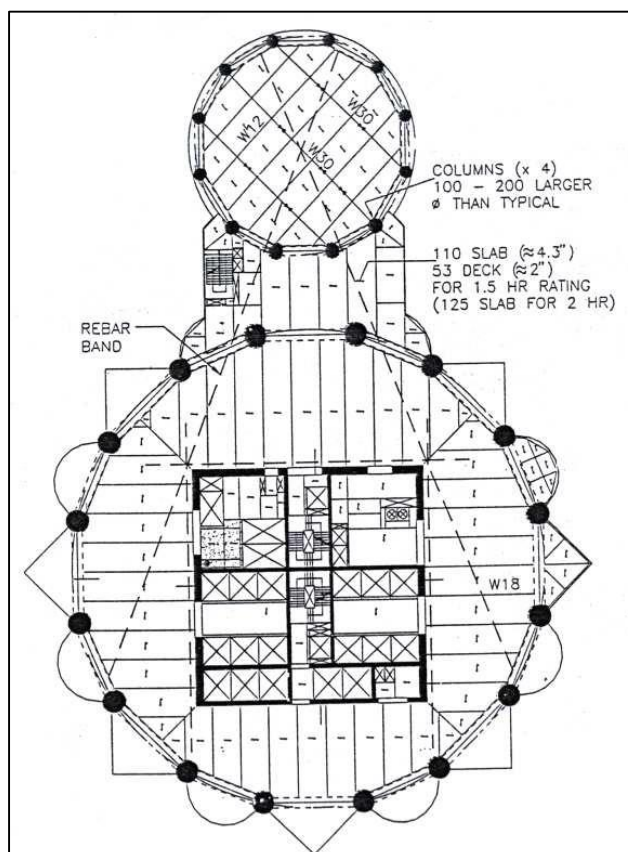


Figura 0.2 Planta inferior de las Torres Petronas
Fuente: Portugal Barriga, 2007

1.3.1.3 Hormigón Prefabricado

En la actualidad con los UHPC, existe la oportunidad de introducir nuevos diseños para los elementos prefabricados, por lo que han sido utilizados en varias aplicaciones como en puentes, vigas pretensadas y postensadas, paneles de

tableros para puentes; y como material de unión entre los paneles y la cubierta del hormigón prefabricado de vigas y entre las alas de vigas adyacentes. Al mismo tiempo, el trabajo de investigación ha sido llevando a cabo en varias universidades de los Estados Unidos (López Martínez, 2012) y en Europa.

Mediante el uso del UHPC, las dimensiones en las alas y el alma se pueden reducir en un 50% y su peso en un 75%, debido al óptimo empaquetamiento entre partículas que forman este tipo de hormigones, por lo que suelen ser mucho más compactos que un HC, también por su mayor densidad, los elementos constructivos se pueden concebir especialmente esbeltos y ligeros.



Figura 0.3 Sistema de armadura UHPFRC postensada de segmentos prefabricados con una sección de cajón abierto.
Fuente: Dywidag-Systems International , 2016.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un hormigón fluido, estable y de alta resistencia para diferentes aplicaciones en la ingeniería civil.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Encontrar el equilibrio entre fluidez, estabilidad, trabajabilidad y alta resistencia a edades tempranas en el hormigón propuesto en el diseño.

- Generar soluciones innovadoras en el sector de la construcción, dando a conocer las grandes ventajas de los nuevos diseños de hormigones, en donde los cuales pueden ser empleados en la rehabilitación de diferentes elementos estructurales.
- Dar a conocer las ventajas que se obtienen al combinar dos tipos de hormigones en un solo diseño, para su aplicación en diferentes estructuras.

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN DISEÑADO

2.1 Definición

El Hormigón Fluido, Estable y de Alta Resistencia (HFEAR) es un hormigón de alto desempeño que se caracteriza por su mayor grado de optimización en su uso en diferentes aplicaciones en la ingeniería civil, debido a que está compuesto por los mismos materiales que un Hormigón Convencional (HC), pero con la diferencia que se reemplaza totalmente al agregado grueso, por el uso de polvos reactivos y la proporción de los componentes se diseña con el objetivo de reunir una combinación especial de requerimientos tales como: una mayor trabajabilidad en estado fresco, baja permeabilidad, alta durabilidad con respecto a la acción del medio ambiente, alta resistencia a la compresión y a la flexión que pueden exceder los 100 y 30 MPa respectivamente.

Las propiedades del HFEAR antes descritas se logran gracias a:

- El uso de diferentes adiciones minerales inertes o reactivas como: polvo de cuarzo, humo de sílice y filler calcáreo. Los componentes antes señalados se conocen como polvos reactivos, de allí derivan las siglas en inglés RPC (Reactive Powder Concrete), todos con partículas menor a 73.7 μm .

- Sustitución del agregado grueso por polvos reactivos, con la finalidad de mejorar el empaquetamiento entre partículas, como se muestra en la Figura 2.1.
- La proporción de agregado fino junto con las adiciones minerales (polvo de cuarzo y filler calcáreo), es aproximadamente un 60% de la mezcla total.
- El uso de un superplastificante de última generación para disminuir la relación agua/material cementicio y sea menor o igual a 0.38, así también mejora las propiedades reológicas de la muestra en estado fresco.
- Para brindar una mayor trabajabilidad la temperatura del agua debe estar aproximadamente entre 10 - 25°C.

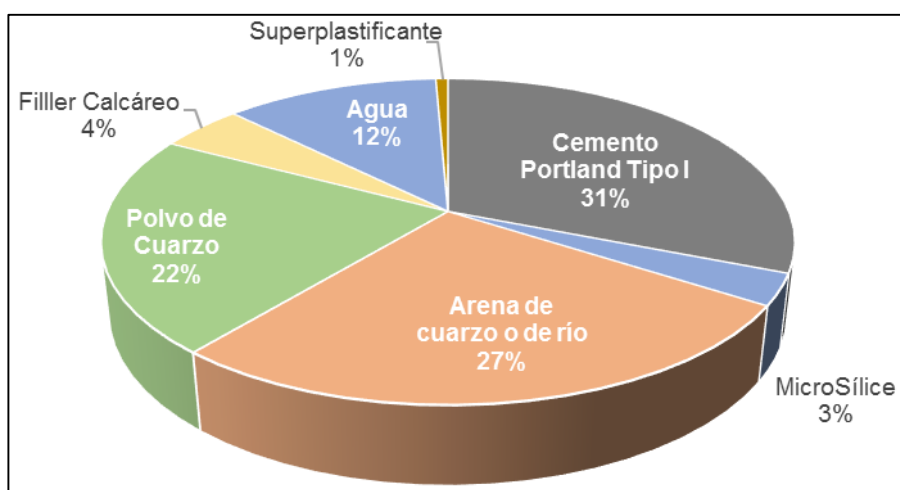


Figura 0.1 Componentes del HFEAR
Fuente: Autores

Es importante mencionar que, al no agregarse fibras de acero, polímeros o carbono, el hormigón puede verse afectado en su ductilidad, por lo que su comportamiento tiende a ser completamente frágil. Por esta razón para mejorar las características de ductilidad del hormigón que se propone, es necesario el empleo de refuerzo de acero. (Espinoza Montenegro, 2010)

2.2 Ventajas del Diseño

La finalidad de diseñar un nuevo hormigón que sea fluido, estable y de alta resistencia al mismo tiempo, presenta amplias ventajas desde el punto de vista de la construcción, sin perder ninguna de sus propiedades para las cuales fueron diseñadas. Las cuales son:

2.2.1 Trabajabilidad

La siguiente característica presenta una mayor facilidad en la colocación, consolidación y acabado debido a sus propiedades autocompactantes disminuye el uso de equipos vibradores en elementos estructurales. Esta característica es especialmente importante en casos de colocación del hormigón en elementos estructurales y arquitectónicos cuya forma geométrica sea

complicada. Se logran acabados que no son posibles con hormigones convencionales.

2.2.2 Altas Resistencias Iniciales

Debido a que el hormigón propuesto gana resistencia de forma acelerada, en un corto tiempo de tan solo horas, es posible ahorrar la utilización de encofrados y apuntalamientos que se emplean durante días para el sostenimiento de los hormigones tradicionales. Esto implica también retirarse mucho antes de los días requeridos y determina además ganar tiempo en los procesos constructivos.

2.2.3 Durabilidad

Es la habilidad del hormigón en resistir las acciones del medioambiente, provenientes de agentes externos (físicos, químicos o mecánicos) o internos para las cuales es diseñada; sin que se generen daños significativos durante su período de vida útil, por lo que es un papel fundamental en el desempeño del hormigón, así como la resistencia.

2.2.4 Módulo Elástico Elevado

Es un parámetro importante en el análisis del comportamiento de una estructura bajo cargas, debido a que depende en gran medida de la relación esfuerzo-deformación del material del que se compone y del tipo de esfuerzo al que el material está sometido. El hormigón presenta un desarrollo en la deformación elástica obteniendo un módulo de elasticidad elevado.

2.2.5 Estabilidad Volumétrica

Los hormigones en estado fresco presentan ligeros cambios de volumen debido a los cambios de temperatura, humedad, factores físicos y químicos similares al acero. Gracias a la adición de microsílíce en el hormigón del presente proyecto, disminuye estos cambios de forma considerable.

2.2.6 Reducción en los Costos

Los costos iniciales de su fabricación pueden resultar algo elevados, aunque más allá de los mismo debido a las condiciones de construcción, los HFEAR ofrecen mayores beneficios por su durabilidad por lo que reducen los costos del ciclo de vida de una estructura. En comparación al acero, los HFEAR tiene un bajo costo

de mantenimiento dada su superior durabilidad, por lo cual lo convierte en un material competitivo con respecto a costos.

Una de las ventajas a lo que se refiere en costos son:

2.2.6.1 Reducción del Costo de Mantenimiento

Para los puentes de acero y de hormigón convencional (HC), es necesario un mantenimiento en un período de vida no muy largo, así como un pintado rutinario en las estructuras de acero, para evitar la corrosión, en el Ecuador la política de mantenimiento de los puentes es muy escasa y casi nula por lo cual varias estructuras no han cumplido con el tiempo de vida útil, por lo que han requerido de un reforzamiento muy temprano.

2.2.6.2 Reducción de la Sección de Elementos Estructurales

Dada su mayor resistencia los hormigones de alto desempeño permiten alcanzar mayores longitudes de vigas sin apoyos, así también reduce el tamaño de las columnas y, por lo tanto, la cantidad de hormigón, refuerzo y encofrado requerido se reduce en consecuencia; permitiendo así una reducción de los costos en la construcción.

2.2.6.3 Vida de Servicio Extendida

Debido a su mayor resistencia a la compresión, agentes externos e internos y a las fallas por fatiga, y gracias a los ejemplos del uso de este tipo de hormigones en otros países, se podrá diseñar puentes que no tendrán grave deterioro por períodos tan largos como a 100 años con un mantenimiento mínimo.

2.2.7 Competitividad

El hormigón fluido, estable y de alta resistencia (HFEAR) presenta una gran alternativa en áreas geográfica donde el acero domina en las construcciones de puentes de tramos largos. Logrando generar los siguientes beneficios según (Portugal Barriga, 2007)

2.2.7.1 Valor

Desde un costo inicial menor hasta una vida de servicio extendida, la presente propuesta (HFEAR) es más económica que el acero, y comparado con el hormigón convencional el uso de un hormigón de alto desempeño puede generar menor secciones y tramos más largos por lo cual el conjunto de la obra puede resultar más económico.

2.2.7.2 Calidad

Un material durable para una variedad de aplicaciones, el hormigón de alto desempeño es una opción práctica.

2.2.7.3 Eficiencia en la Construcción

El uso de elementos prefabricados de hormigón armado y pretensado, pueden ayudar a reducir los tiempos de construcción y los costos por elaboración de elementos estructuras en serie.

2.2.8 Estética en el Hormigón

Debido a la versatilidad que poseen los hormigones de alto desempeño, estos se han usado en muchos puentes atirantados, los

cuales tienen un especial atractivo y belleza, por lo cual este tipo de hormigones no solo ofrecen funcionalidad, si no también innovación.

2.2.8.1 Distinción de la Arquitectura

La adaptabilidad del hormigón a diferentes formas arquitectónicas, hace que cada puente presente una apariencia singular.

2.2.8.2 Distingue a la Comunidad

La construcción de una obra como un puente con un gran criterio arquitectónico, un puente atirantado distingue a la localidad donde se ubica.

2.2.8.3 Promueve el Desarrollo Económico y Turístico

Las regiones con una infraestructura eficiente atraen al desarrollo.

2.3 Propiedades

Las propiedades del HFEAR dependen de gran medida de las proporciones y de la calidad de sus componentes como se muestra en la, así también de la temperatura y humedad relativa del ambiental, durante el proceso de fabricación y de endurecimiento.

2.3.1 Propiedades en Estado Fresco

Es de importancia señalar que la reología aplicada a la presente investigación, incluye estudios de deformación del hormigón endurecido, el manejo y colocación del hormigón recién mezclado, y el comportamiento de lechadas, pastas y similares (ACI 116R-78, 1980).

El comportamiento reológico del hormigón se valora con parámetros, tales como la relación a/m.c, contenido de agregado fino, la dosificación y su relación con los diferentes tipos de adiciones con respecto a la cantidad del material cementicio, como se muestra en la Tabla IV debido a que el hormigón en estado endurecido dependerá de las características en su estado fresco.

Hay que destacar, la baja calidad de los componentes y un inadecuado proceso de elaboración del diseño del hormigón pueden generar problemas de segregación, exudación y entre otros, en donde estos provocan una considerable pérdida de resistencia.

Tabla IV Parámetros que influyen en las propiedades reológicas.

Parámetros	Ejemplos de Variables
Cemento	Tipo, Cantidad, Cantidad, Composición, Calor de Hidratación.
Agua	Cantidad; Límites de componentes dañinos al hormigón.
Agregados	Forma; textura; granulometría, módulo de finura.
Aditivos	Composición química, tipo, cantidad
Adiciones	Gravedad específica; finura; forma
Dosificación	Relación a/m.c, cantidad de finos, aditivo.
Condiciones Ambientales	Temperatura; humedad relativa.

Fuente: Portugal Barriga, 2007

A continuación, se describe las características principales del HFEAR en estado fresco:

2.3.1.1 Trabajabilidad

La trabajabilidad en el hormigón es la cantidad de trabajo interno útil que requiere para producir una adecuada colocación, consolidación, un buen acabado en estado fresco y resistencia a la segregación.

Puede ser afectada principalmente por el contenido de agua de la mezcla, relación a/m.c, porcentaje de aditivos en la mezcla, consistencia del hormigón, condiciones ambientales, aire incorporado, tamaño, forma y textural superficial del

agregado fino y sus adicciones (fibras), (Neville & Brooks, 2010; Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

La manejabilidad puede verse como señal de advertencia para la obtención de características especiales de los UHPC, desafortunadamente no existe un método que mida la trabajabilidad de forma directa en los UHPC (Neville & Brooks, 2010; Portugal Barriga, 2007), de acuerdo a la investigación realizada para conocer la reología del hormigón para estructuras de carreteras por (Li Misson, Ahlborn, & Peuse, 2008) y recubrimiento de capa fina para una cubierta del mismo (Shann, 2012) su ensayo de control de calidad en estado fresco para conocer la reología de la muestra se utiliza un método de prueba estándar ASTM C 1437 para el flujo de cemento hidráulico recomendada por Ductal® T006 (Operating Procedure - Flow Test), con la diferencia de 20 impactos en comparación con los 25 impactos especificados por las ASTM, ensayo el cual se detalla en el CAPITULO 5 cuyo diámetro de propagación medida en cuatros direcciones se domina mediante la

Tabla V.

Tabla V Tabla de flujo

DIÁMETRO DE PROPAGACIÓN DESPUÉS DE 20 CAÍDAS	REOLOGÍA DE LA MEZCLA
< 200	Rígido
200-250	Fluido
>250	Muy fluido

Fuente: Shann, 2012; Li Misson, Ahlborn, & Peuse, 2008

2.3.1.2 Contenido de Aire

El volumen de aire incluido en el hormigón en estado fresco, así también la porosidad, cumplen con un papel importante en la resistencia a la compresión del material.

Algunas de las propuestas para controlar el porcentaje de contenido de aire, es optimizar la mezcla granular para obtener una mezcla densa autocompactable, además de la aplicación de procesos de presurización y regímenes térmicos de curado, que permita contribuir significativamente la reducción de la porosidad contribuyendo de manera directa al desarrollo de la resistencia a la compresión.

De acuerdo a la investigación realizada en comparación a otros estudios si existe un incremento del volumen de aire, las resistencias a compresión tienden a ser menores. Si se

reduce de la mezcla un 1% del contenido de aire, esta reducción se asociaría con un aumento en la resistencia a la compresión.

El contenido de aire en un UHPC varía en un volumen de 1 a 5% para las relaciones de agua-cemento más bajas observadas en mezclas de baja viscosidad. Además, existe una tendencia hacia un aumento del contenido de aire las fibras de acero utilizadas (Müller & Haist, 2012).

2.3.2 Propiedades Mecánicas

La caracterización de las propiedades mecánicas es fundamental en el diseño y del uso de un UHPC. Las cuales sus propiedades mecánicas básicas son las siguientes:

2.3.2.1 Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión se comprende como la máxima carga axial de especímenes de hormigón, es una de las propiedades más activas de este material, por lo que se ha demostrado que es capaz de alcanzar resistencias a la compresión de más 100 MPa a los 28 días. El aumento de la resistencia a la compresión, se puede atribuir al óptimo

empaquetamiento de las partículas, selección de sus componentes y la resistencia de la pasta de cemento; además de la influencia de un adecuado curado.

En otras investigaciones han demostrado el uso de la norma ASTM C109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-inch (50-mm) Cube Specimens) puede ser aplicada en UHPC como se ha realizado en el presente trabajo.

De acuerdo al tipo de falla de los especímenes en forma cónica es un patrón en hormigones de Ultra Alta Resistencia.

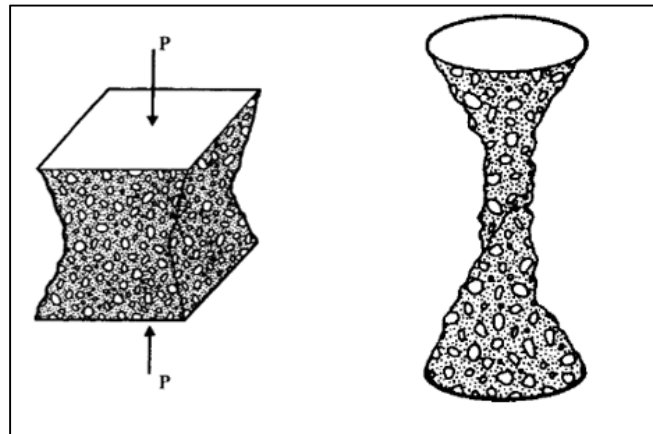


Figura 0.2 Tipo de falla cónica en hormigones de alta resistencia

Fuente: (Neville & Brooks, 2010)

2.3.2.2 Resistencia a la Flexión

La resistencia a la flexión es el esfuerzo a tracción máximo teórico o resistencia a la falla por momento de una viga o losa de un hormigón, también conocido como módulo de rotura (MR), cuyo dato es orientado para ser utilizado en carreteras, pisos o placas sobre el terreno.

Las resistencias a la flexión en los UHPC pueden alcanzar a los 30 MPa hasta los 45 MPa y más (Neville & Brooks, 2010).

Se puede sacar un índice de correlación teniendo en cuenta una estadística de la compresión de las probetas cilíndricas, ya que los ensayos de compresión son más fáciles de ejecutar.

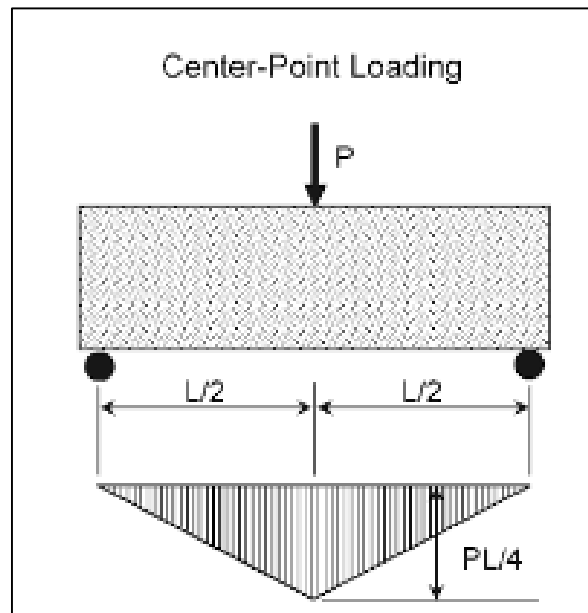


Figura 0.3 Diagrama de momento de flexión por las cargas en el punto medio

Fuente:

La resistencia a la flexión de las vigas se obtiene mediante la ecuación:

$$MR = \frac{QgL}{a^2} \quad \text{Ecuación 0.1}$$

Donde:

MR: Módulo de ruptura, MPa

Q: Carga máxima, KN

g: gravedad, m/ seg²

a: ancho de la viga, mm

2.3.2.3 Resistencia a la Tracción Indirecta

También conocido como el ensayo brasileño, normalmente es mayor a la resistencia a la tracción directa y menor que la resistencia a la flexión (Módulo de Rotura), sin embargo, es de suma importancia conocer la resistencia al cortante, provisto por el hormigón y así determinar la longitud de desarrollo del esfuerzo.

La no existencia del resquebrajamiento del hormigón es importante por cuanto no se haría ningún tipo de mantenimiento de la estructura ni tampoco en la preocupación de la corrosión del acero de refuerzo (Neville & Brooks, 2010).

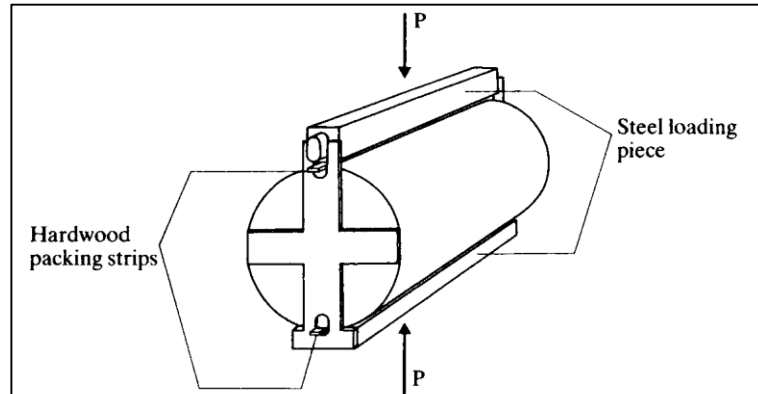


Figura 0.4 Procedimiento de prueba de compresión diametral
Fuente: Neville & Brooks, 2010

La resistencia a la compresión diametral se obtiene mediante la fórmula:

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi ld} \quad \text{Ecuación 0.2}$$

Donde:

P = Máxima carga aplicada en el espécimen

l = longitud del espécimen, cm

d = diámetro del espécimen, cm

2.3.2.4 Módulo de Elasticidad Estático

Cabe mencionar que los hormigones con alta resistencia exhiben un comportamiento frágil, por lo que su Módulo de

Young no es directamente proporcional a la resistencia a la compresión; por lo que puede variar con otros factores tales como la edad del mismo, las propiedades de los agregados y el cemento.

Los módulos de elasticidad en los UHPC pueden alcanzar a los 35 GPa hasta los 50 GPa y más (Neville & Brooks, 2010).

El módulo de elasticidad y la relación de Poisson, aplicables dentro de los rangos de esfuerzos de trabajo acostumbrados (0 a 40% de la resistencia última del hormigón).

Este parámetro se lo denota con el símbolo de E_c , y se puede definir como la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos a tracción o compresión menores al límite de proporcionalidad del material (ACI 318, 2014). Para hormigones que se encuentran en el rango de resistencia entre 80 a 140 MPa, se utiliza la siguiente ecuación, expresado en GPa (Neville A. , 2002):

$$E_c = 3.65 (f'cu)^{0.5} \quad \text{Ecuación 0.3}$$

Para ser más conservador él (ACI Committee 363, 1997) recomienda la siguiente ecuación para hormigones cuyas resistencias a la compresión comprende entre 21 a 83 MPa.

$$E_c = 3320 \sqrt{f'c} + 6900 \quad \text{Ecuación 0.4}$$

2.3.2.5 Módulo de elasticidad dinámica y relación de Poisson.

La relación entre el módulo dinámico de elasticidad del hormigón y su resistencia $f'cu$ en MPa, y puede determinarse empleando la ecuación

$$E_d = 7.6f'cu + 14 \quad \text{Ecuación 0.5}$$

También se puede obtener el módulo de elasticidad dinámico si se conoce el módulo de elasticidad estático se puede emplear la siguiente ecuación, obtenida a partir de la prueba de ultrasonido (Choudhari, Kumar, Kumar, & Gupta, 2002).

$$E_d = 1.5E_c - 5.9 (GPa) \quad \text{Ecuación 0.6}$$

Para el diseño de análisis de algunos tipos de estructuras es necesario la razón de Poisson, así como los módulos estáticos y dinámicos debido a su relación con las deformaciones unitarias en el rango del comportamiento elástico que se genera por causa de las cargas aplicadas en una estructura.

Los datos experimentales acerca de la razón de Poisson son limitados en gran parte es independiente con la resistencia a la compresión del hormigón (Mindess, Young, & Darwin, 2003).

De acuerdo a la investigación de (Graybeal & Russell, Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community , 2013) los valores del módulo de Poisson varía entre 0.16 y 0.21 en hormigones de alta resistencia, cabe mencionar que este parámetro no es muy consistente y es posible observar valores fuera del intervalo mencionado.

El método de velocidad de pulso ultrasónico se basa en la propagación de ondas en un medio heterogéneo como es el hormigón, y tiene como finalidad determinar el módulo

dinámico y la relación de Poisson μ puede ser calculado mediante las ecuaciones:

$$E_d = \rho * V^2 * \frac{(1+\mu)*(1-2\mu)}{(1-\mu)} \quad \text{Ecuación 0.7}$$

Donde:

V = Velocidad de pulso

ρ = Densidad del concreto

μ = Módulo de Poisson o coeficiente de fricción.

2.3.2.6 Resistencia a los Sulfatos

Aunque una pequeña parte del concreto utilizado en la realidad, se expone a graves ataques químicos. Puede ser una ventaja, así como los sulfatos en estado sólido no afectan al concreto, pero una solución de sulfatos de sodio y de magnesio atacan directamente a los componentes hidratados en la pasta del cemento tales como el hidrato de aluminato de calcio y a los hidratos de silicato de calcio, generando fisuras, agrietamientos y descaramiento progresivo que reduce al hormigón a un estado quebradizo o desintegrado.

Debido a la incorporación de microsílíce en el presente diseño, y a los estudios efectuados en diversos países demuestran que las mezclas preparadas empleando este material son más resistentes al ataque de sulfatos que aquellas preparadas empleando cementos especiales resistentes a los sulfatos.

2.3.2.7 Ultrasonido

Para realizar este ensayo es necesario que las caras de los cilindros estén ubicadas de tal forma que el transmisor y el receptor se encuentren alineados entre sí, para que la pulsación sea correctamente propagada.

La pantalla digital del equipo indica el tiempo en microsegundos que tarda el pulso en trasladarse por el hormigón, y en conjunto con la longitud del cilindro, da como resultado la velocidad de la onda en m/s, mediante la ecuación:

$$\text{Velocidad de pulso} = \frac{\text{Distancia entre transductores}}{\text{Lectura del tiempo}}$$

Ecuación 0.8

La velocidad se determina a partir de tres lecturas realizadas a cada a cada elemento y, posteriormente, del cual se obtiene un promedio. promedio. Con este dato, podemos determinar la calidad del hormigón, consultando algunos de los criterios de clasificación de clasificación de calidad que se muestra en la

Tabla VI.

Tabla VI. Clasificación del concreto según su velocidad ultrasónica.

Velocidad Ultrasónica, V (m/s)	Clasificación del Hormigón
V > 4575	Excelente
4575 > V > 3660	Bueno
3050 > V > 2135	Cuestionable
3050 > V > 2135	Pobre
V < 2135	Muy Pobre

Fuente: (Solís Carcaño, Moreno , & Castillo Pak, 2004)

2.4 Tipos de UHPC

El término UHPC se asocia a los hormigones con resistencia característica superior a 150 MPa en probeta cilíndrica, alto contenido de cemento y elevada compacidad que le confiere una muy alta durabilidad (Camacho Torregrosa, 2013) que no se pueden obtener con materiales y practicas convencionales (ACI 318, 2014).

En Europa, EEUU y Japón, existe un empuje en el desarrollo de otros nuevos e innovadores UHPC, en donde los cuales las empresas que los

comercializan son los que nombraremos a continuación; Lafarge, Grupo Eiffage, y el Laboratoire Central de Puentes, entre otros.

Los UHPC-UHPFRC se puede decir que son una combinación de estos tres hormigones especiales como el hormigón autocompactable, de alta resistencia y con fibra, como se muestra en la Figura 0.5 Familia de los hormigones especiales, cuyas denominaciones y diferentes tipos existentes en el sector de la construcción a nivel internacional, se encuentra en la Tabla VII.

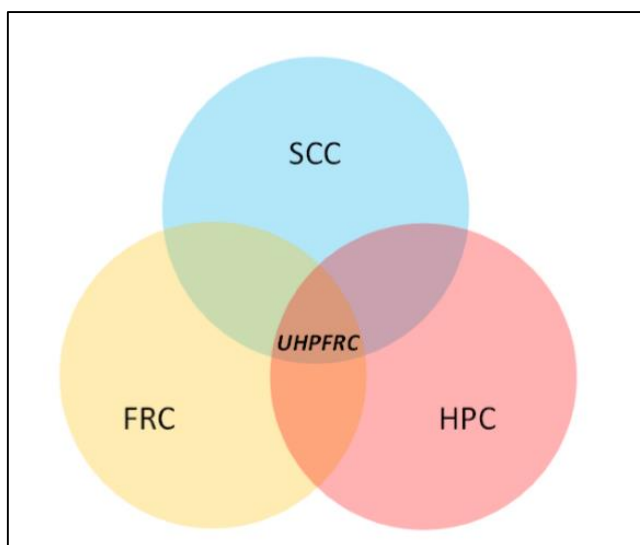


Figura 0.5 Familia de los hormigones especiales
Fuente: Camacho Torregrosa, 2013

Tabla VII. Clasificación de las familias de los UHPC

SUBFAMILIAS DE LOS HORMIGONES ESPECIALES		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	RELACIÓN A/M.C	ADITIVOS	ADICIONES MINERALES	FIBRAS EN LA MEZCLA	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN
HFRC	Hybrid Fiber Reinforced Concrete	< 85 MPa	0.45	HRWR	HS	Varios tipos	Alto
FRC	Fiber Reinforced Concrete		0.45	WRA/HRWR	No necesario	Fibras discretas	Medio Alto
SCC	Self Compacting Concrete	> 28 MPa	0.32 - 0.40	WRA/HRWR*	HS	----	8 a 11 MPa
HSC	High Strength Concrete	50-100 MPa	0.23 - 0.35	WRA/HRWR*	HS **	---	
HPC	Reactive Powder Concrete	200 - 800 MPa	0.12 -0.2	HRWR	HS**	SI	> 35 MPa
UHSC	Ultra High Strength Concrete	> 150 MPa	< 0.25	HRWR	HS**	SI	
UHPFRC	Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete	> 150 MPa	0.12 -0.2	HRWR	HS**	Varios tipos	8 a 11 MPa
VHPFRC	Very High Performance Fiber Reinforced Concrete	100-150 MPa	0.30-0.25	HRWR	HS**	Varios tipos	Alta
SCFRC	Self-Compacting FRC		0.45 0.49	HRWR	HS	Varios tipos	Alta

Fuente: (Portland Cement Association, 1994)

* WRA = Aditivo reductor de agua; HRWR = reductor de agua de alta gama

** También puede contener cenizas volantes, filler calcáreo, puzolana.

En la Figura 0.6 se puede observar las subfamilias de hormigones de UHPC existentes, la cual en su mayoría poseen fibras cortas, aleatorias y discretas en su composición, las cuales son empleadas en aplicaciones estructurales en busca de beneficios adicionales.

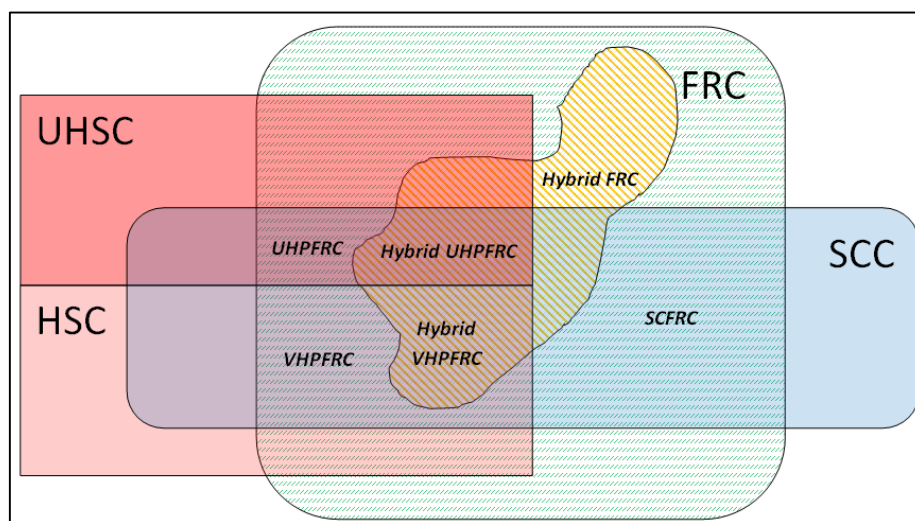


Figura 0.6 Diferentes familias de hormigones en el entorno de UHPFRC
Fuente: Camacho Torregrosa, 2013

2.5 Perspectivas de desarrollo de los concretos de alto desempeño en el Ecuador.

Por todo lo expuesto en el presente proyecto de investigación, podemos analizar cuáles serían las perspectivas de los UHPC en el Ecuador. En sentido puramente técnico de aplicación y de acuerdo especificaciones adecuadas en el diseño estructural, aunque tampoco existirá problema en su uso, en la nueva generación de ingenieros estructurales ponga a prueba su creatividad para en la construcción de nuevos diseños.

En cuanto al nivel de sismicidad, y por lo ocurrido el 16 de abril del 2016, se ha comprobado que las estructuras deben contar con un adecuado confinamiento, por lo que el concreto de alto desempeño puede cumplir razonablemente con los requerimientos de ductilidad, no existiendo problema alguno con respecto a su uso.

Quizás, el problema es el mercado, en el Ecuador al igual que en Perú solo el 10% del concreto proviene de las plantas de premezclado, quienes son las únicas que podrían preparar este tipo de Hormigón. Por tanto y en este sentido, el uso de los concretos premezclados es aún muy restringido a corto y aún mediano plazo, por lo crecerá de manera lenta.

Sin embargo, seguramente en un futuro, el desarrollo y la investigación de los HAD o UHPC (por sus siglas en inglés) podrían ser unos de los hormigones más utilizados en País, con materiales disponibles y en la espera de ser explotados en cada región, así también adaptándolos a los requerimientos en obras tales como:

- Para construir edificios de gran altura, las aplicaciones en edificios están justificadas por la propia alta resistencia del hormigón, que reducir secciones de vigas y columnas incrementando el espacio disponible, reducción del peso de los elementos estructurales entre un

60 – 75% y brindar un ahorro considerable en el proceso de elaboración del acero de refuerzo.

- Para construir puentes de grandes luces, mejorar su durabilidad y disminuir costos de mantenimiento, así también para asegurar el anclaje, darle un mejor acabado al arco, disminuir las secciones de viga y sus uniones.
- Para la fabricación de elementos prefabricados y contar con un mayor aprovechamiento del pretensado y agilización de los procesos de prefabricación.
- Para la rehabilitación de estructuras de acuerdo a las recomendaciones presente en el proyecto también puede ser usado.
- Para condiciones desfavorables como en estructuras tales como obras marítimas o plantas de tratamiento de aguas residuales.
- De acuerdo a las especificaciones técnicas de ciertas aplicaciones especiales, que satisface principalmente a la durabilidad, módulos plásticos y resistencia a la flexión, pueden ser utilizados en las obras estratégicas del país en comparación con el hormigón tradicional,

debido a las ventajas que posee, el cual permitirá competir con las mejores soluciones constructivas existentes.

CAPÍTULO 3

MATERIALES

3.1 Cemento

3.1.1 Definición del Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, es decir, es un material inorgánico finamente pulverizado, el cual está conformado por diferentes materiales (componentes) que cuidadosamente dosificados mediante un proceso de producción rigurosamente controlado, le dan al cemento las propiedades físicas, químicas y resistencias adecuadas para el diseño de hormigón requerido por las diferentes obras civiles.

Dosificado y mezclado apropiadamente con agua y áridos debe producir un hormigón o mortero que conserve la trabajabilidad durante un tiempo determinado, alcanzar los niveles de resistencias preestablecido y presentar estabilidad volumétrica a largo plazo.

El endurecimiento hidráulico del cemento se debe principalmente a la hidratación de los silicatos de calcio, aunque también pueden participar en el proceso de endurecimiento otros compuestos químicos como, por ejemplo, los aluminatos. La suma de las proporciones de óxido de calcio reactivo (CaO) y de dióxido de silicio reactivo (SiO₂) será al menos del 50% en masa, cuando las

proporciones se determinen conforme con las Normas Estadounidenses ASTM C 150 para el cemento Portland y la ASTM C 595 para cementos adicionados, ambas contienen requisitos prescriptivos y de desempeño. (IECA, 2017)

Existen, desde el punto de vista de composición normalizada, dos tipos de componentes:

Componente principal: Material inorgánico, especialmente seleccionado, usado en proporción superior al 5% en masa respecto de la suma de todos los componentes principales y minoritarios.

Componente minoritario: Cualquier componente principal, usado en proporción inferior al 5% en masa respecto de la suma de todos los componentes principales y minoritarios.

3.1.2 Cemento Portland

El cemento portland es un conglomerante hidráulico que se obtiene a partir de la mezcla de roca caliza pulverizada (contiene más del 60% de carbonato de calcio " $CaCO_3$ ") y arcilla artificial (contiene óxido de silicio " SiO_2 ", óxido de hierro " Fe_2O_3 " y óxido de aluminio " Al_2O_3 ") con una curva granulométrica de 0 a 150 μ y

homogenizada; con una proporción de arcilla muy próxima al 20% y estrictamente dosificada para poder conseguir, en cada caso, la combinación prácticamente total del óxido de calcio “CaO”. Se calcina a la temperatura de clinkerización comprendida entre los 1400°C y 1650°C, lo que permite esta incorporación del CaO, específica en cada caso.

Luego de la calcinación el material que se obtiene es denominado “Clinker”, el cual se enfría y se muele finamente adicionándole de un 2% a 3% de yeso para evitar que fragüe instantáneamente.

Tabla VIII Composición Típica del Cemento Portland

Nombre Químico	Fórmula Química	Notación Abreviada	Porcentaje en Peso
Silicato tricálcico	3CaO·SiO ₂	C3S	55
Silicato dicálcico	2CaO·SiO ₂	C2S	18
Aluminato tricálcico	3CaO·Al ₂ O ₃	C3A	10
Ferroaluminato tetracálcico	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	C4AF	8
Sulfato de Calcio Di hidratado	CaSO ₄ ·2H ₂ O	CSH ₂	6

Fuente: Mindess, Young, & Darwin, 2003

3.1.3 Cemento Portland Puzolánico

El cemento Portland puzolánico es una mezcla de cemento Portland y materiales puzolánicos tales como ceniza volcánica, puzolana original, pumicita, arcillas quemadas y cenizas volantes; en si la

proporción de los materiales empleados es de 55% a 70% de Clinker Portland, 30% a 45% de puzolana y 2% a 4% de yeso.

Este tipo de cemento es de mayor resistencia a los agentes químicos, se caracteriza por desarrollar menos calor al fraguar, tener menor dilatación y ser más impermeable que el cemento Portland disminuyendo la exudación y segregación.

3.1.4 Cemento Portland Tipo GU

Es un cemento Portland puzolánico tipo I destinado para la construcción en general, fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380 equivalente a la Norma ASTM C1157. Esta norma permite que existan cementos adicionados que minimizan el impacto ambiental y dar como resultado un uso muy eficiente de las materias primas, reciclados y de subproductos de otros materiales.

3.1.5 Cemento Portland Tipo HE

Es un cemento Portland puzolánico tipo III destinado a la fabricación de hormigones con mayores resistencias mecánicas, construcción de estructuras en zonas de alto riesgo sísmico, centrales hidroeléctricas,

pavimentos y obras de infraestructura en general; adicionalmente es muy útil en plantas de prefabricados ya que se generan mayores resistencias a edades tempranas.

Este cemento hidráulico de alta resistencia es fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380, que equivale a la Norma ASTM C1157. Esta directriz permite fabricar cementos con adiciones basados en su desempeño, que minimizan el impacto ambiental y dan como resultado un uso muy eficiente de las materias primas.

3.2 Agua

El agua que se emplea para la mezcla del hormigón debe cumplir con dos funciones de vital importancia, permitir que el cemento se hidrate y hacer que la mezcla sea manejable. De toda el agua que se incorpora para la preparación de la mezcla, parte reacciona químicamente con el cemento, mientras que el resto no presenta ninguna alteración y tiende a evaporarse gradualmente a medida que la mezcla se solidifica.

La cantidad de agua para que el cemento se hidrate de forma adecuada se encuentra alrededor del 25% al 30% de la masa de cemento, pero con esta cantidad muy limitada la mezcla tiende a ser muy seca y brinda muy

poca trabajabilidad, por lo tanto, es recomendable que la cantidad de agua sea como mínimo del 32% de la masa del material cementante más la adición de un aditivo superplastificante de alto rango reductor de agua, de esta manera la mezcla es trabajable con una mínima cantidad de agua.

El agua que es considerada como adecuada para el uso en hormigones debe indicar que su composición química sea apta para el consumo humano, sin importar si ha tenido un tratamiento preliminar o no; es decir, cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para la mezcla.

Se recomienda realizar un análisis químico al agua que será empleada, para que cumpla con los requisitos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2617:2012, a continuación, en la tabla 3.2. se detalla el valor máximo recomendado dependiendo del tipo de impurezas presentes en el agua:

Tabla IX Límites de impurezas permitidos al agua de mezcla.

TIPO DE IMPUREZA	VALOR MÁXIMO RECOMENDADO
Ácidos orgánicos (ácido sulfúrico)	10000 ppm
Aceite mineral (por masa de cemento)	2%
Agua con algas	no recomendable
Agua de mar:	35000 ppm
<ul style="list-style-type: none"> • Para hormigón no reforzado • Para hormigón reforzado o pretensado 	no recomendable
Aguas sanitarias	20 ppm
Azúcar	500 ppm
Carbonato de calcio y magnesio	400 ppm
Carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio	1000 ppm
Cloruro de calcio	30000 ppm
Cloruro de magnesio	40000 ppm
Cloruros:	*20000 ppm
<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras con bajo potencial de corrosión y condiciones secas • Hormigón pretensado • Estructuras con elementos galvanizados y de aluminio. 	500 ppm 1000 ppm
Hidróxido de potasio (por masa de cemento)	1.20%
Hidróxido de sodio (por masa de cemento)	0.50%
Partículas en suspensión	2000 ppm
PH	6* - 8*
Sales de hierro	40000 ppm
Sales de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo	500 ppm
Sulfato de magnesio	25000 ppm
Sulfato de sodio	1000 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm

El contenido máximo de iones combinados de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonato, sulfato, cloruro, nitrato y carbonato es 20000ppm

Fuente: (NTE INEN 2617, 2012)

3.3 Agregado fino

3.3.1 Arena de río lavada

La arena de río lavada es un árido procedente de la extracción de arena natural desde el lecho del río mediante dragas mecánicas, en donde estas son lavadas industrialmente para eliminar todo tipo de impurezas tales como materia orgánica, limos, arcillas, turba y basura. Este tipo de árido concentra una mayor cantidad de cuarzo y piedra de gran dureza cuyo tamaño varía entre 0.063 y 2 mm.

Este árido es apto para hormigones, morteros de albañilería, morteros celulares y otros tipos de morteros. También es utilizado para tapar tuberías de gas y cableado eléctrico.



Figura 3.1 Arena de río lavada (Río BuluBulu)
Fuente: Autores

3.3.2 Arena de Cuarzo Silícica

Cuarzo, el mineral más común, compuesto por dióxido de silicio, o sílice, SiO_2 . Distribuido por todo el mundo como componente de rocas o en forma de depósitos puros, es un constituyente esencial de las rocas ígneas, como el granito, la riolita y la pegmatita, que contienen un exceso de sílice. En las rocas metamórficas, es un componente principal de distintos tipos de gneis y de esquisto; la roca metamórfica llamada cuarcita se compone casi en su totalidad de

cuarzo. El cuarzo forma vetas y nódulos en rocas sedimentarias, sobre todo en la roca caliza.

Muchas vetas de cuarzo depositadas en fisuras de rocas forman la matriz de muchos minerales valiosos. Los metales preciosos, como el oro, se encuentran en cantidad suficiente en las vetas de cuarzo como para justificar la extracción de este mineral. El cuarzo es también el constituyente principal de la arena.

La arena de cuarzo silícica es un árido procedente de la explotación minera, en donde la misma es procesada para llevarla al módulo de finura requerido por el consumidor.

Este árido es procedente del cantón Daule en la provincia del Guayas.



Figura 3.2 Arena de Cuarzo / Silícica
Fuente: Autores

3.4 Aditivos

Los aditivos son sustancias químicas destinadas a modificar alguna o algunas de las propiedades físicas del hormigón, de tal manera que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o a los requerimientos del constructor.

Generalmente se los dosifica por debajo del 2% de la masa del cemento, se lo emplea como ingrediente de la pasta y se lo agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado.

3.4.1 Aditivo Superplastificantes

La nueva generación de aditivos superplastificantes fueron desarrollados en Japón durante los inicios de la década de los 90, sintetizados a partir de la polimerización de ácido acrílico con cadenas laterales de condensados de óxido de etileno para formar los éter de policarboxílico o también denominados policarboxilatos (PCE). En Europa los aditivos superplastificantes de nueva generación se consolidan a partir de la segunda mitad de la década de los 90 y especialmente durante los años 2000 - 2004, permitiendo de nuevo un paso adelante en el desarrollo tecnológico del hormigón, como los hormigones autocompactantes y de altas prestaciones, que pueden ser colocados en obras sin la necesidad de vibración y compactación externa.

Los aditivos superplastificantes de nueva generación son los aditivos que experimentan un crecimiento más importante en su empleo. No solamente por su superior capacidad reductora de agua, también porque en su síntesis pueden modificarse secuencias que permiten modular propiedades como por ejemplo el mantenimiento de consistencia (persistencia del efecto dispersante), la evolución de resistencia inicial y, lo más importante, adaptar la compatibilidad del aditivo a cada cemento en particular.

Los aditivos superplastificantes deben cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C-494 Tipo A y F.



Figura 3.3 Aditivo reductor de agua de alto rango
Fuente: Autores

3.5 Adiciones

3.5.1 Polvo de Cuarzo

El polvo de cuarzo es un material inerte de alta pureza, proveniente de la molienda de arena de cuarzo mediante el empleo de un molino de bolas durante un tiempo determinado para llegar a la finura

requerida en el diseño, en donde, el diámetro de las partículas que se obtienen es del orden de 10 – 15 μm .

Este material pulverizado es uno de los componentes más importantes dentro de la mezcla, ya que reemplaza al agregado grueso comúnmente utilizado en hormigones convencionales, brindándole de un mejor empacamiento entre partículas en la estructura interna del hormigón y cuya proporción dentro de la dosificación es de alrededor del 22% de la masa total.



Figura 3.4 Polvo de Cuarzo
Fuente: Autores

3.5.2 Microsílice

Es una adición en polvo fino, color gris, con base en microsílica, 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.

Diseñado para cumplir con los requerimientos de la Norma ASTM C1240.

Los **usos** que se le dan a esta clase de adición son:

- Se coloca de forma segura al hormigón bajo agua sin que exista descomposición del mismo.
- Reduce la exudación y la segregación del hormigón.
- Mejora la aptitud para el bombeo del hormigón.
- Elaborar hormigones resistentes al ataque de sulfatos.

- Dota al hormigón de resistencia al ataque químico de aguas y suelos agresivos.
- Reduce la permeabilidad del hormigón.
- Mejora la cohesión y la adherencia al soporte de hormigones proyectados.



Figura 3.5 Micro Sílice -SIKA FUME
Fuente: Autores

3.5.3 Filler Calcáreo

Es una adición en polvo mineral inorgánico e inactivo procesado, obtenido de la molienda de la piedra caliza, posee un alto contenido de carbonato cálcico (CaCO_3) aproximadamente un 90% dentro de su composición química, el cual permite acelerar el proceso de hidratación de los aluminatos tricálcicos C_3A existentes en el Clinker, contribuyendo así al fraguado en el hormigón.

Una de sus ventajas principales del filler calcáreo puede ser usada como material cementicio, presentando así una buena trabajabilidad que le confiere a los morteros y hormigones en estado fresco.

El diámetro de las partículas del polvo mineral está aproximadamente del orden de 0.063 mm, por lo que mientras más finas sean las partículas del filler y mayor su superficie específica, mejora la disolución de los carbonatos alcalinos.



Figura 3.6 Filler Calcáreo - Polvo de Caliza.
Fuente: Autores

3.6 Análisis Granulométrico de las Arenas

El análisis granulométrico de las muestras obtenidas es de vital importancia, ya que las características de fluidez y estabilidad para el diseño de los hormigones va a depender de la distribución de las partículas. Así mismo una adecuada granulometría es ventajosa debido a que cubre la mayor cantidad de huecos en la mezcla, evitando un consumo excesivo de pasta cementicia y abaratando los costos de producción.

La granulometría de las muestras fue realizada en el Laboratorio de Suelos de la FICT, en donde mediante las Normas ASTM C33 y NTE INEN 696:2011 (ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS,

FINO Y GRUESO), se procedió al análisis granulométrico, cuyos resultados se encuentran en el ANEXO B.

Las Normas establecen el empleo de los siguientes tamices: $\frac{3}{8}$ ", N° 4, N° 8, N°16, N°30, N°50, N°100 y Fondo.

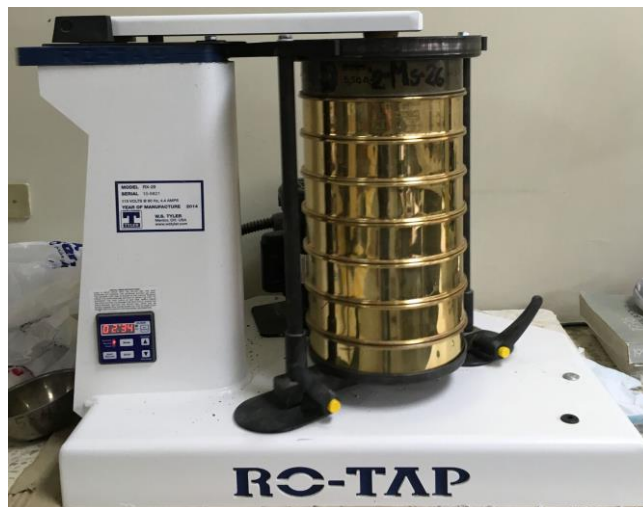


Figura 3.7 Tamizador mecánico para arenas.
Fuente: Autores

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL HORMIGÓN

4.1 Introducción

En este capítulo, se presenta la descripción de la metodología empleada en el presente proyecto, las consideraciones de diseño, dosificación, elaboración del hormigón de este trabajo de investigación y ensayos experimentales junto con sus respectivas normas.

En el capítulo 3, se presenta la caracterización de los materiales constituyentes utilizados para la producción de los dos diseños propuestos y así obtener las dosificaciones finales bajo ciertos parámetros.

Las pruebas realizadas en el laboratorio consistieron en ensayos para el hormigón en estado fresco y endurecido con el objetivo de conocer sus propiedades descritas en el Capítulo 2.

4.2 Metodología de Trabajo

En esta sección se explica la metodología empleada para realizar los ensayos experimentales para el hormigón fluido, estable y de alta resistencia, como se muestra en la Figura 4.1

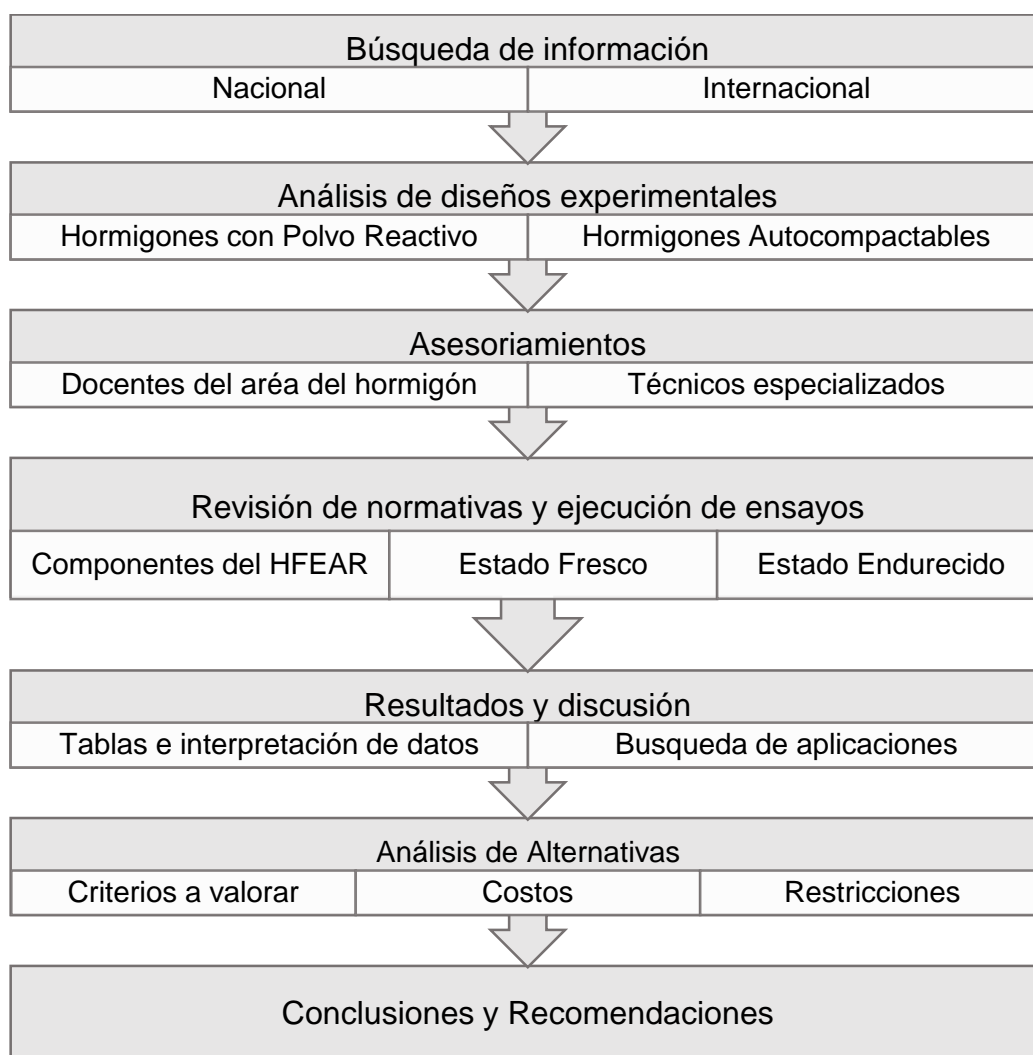


Figura 0.1 Metodología de trabajo en el presente proyecto
Fuente: Autores

La influencia de los componentes en las mezclas, están en base a la preparación de los mismos, hasta lograr el objetivo deseado del proyecto como se presenta en la Figura 4.2 bajo ciertos parámetros, mediante ensayos para el hormigón en estado fresco y endurecido.

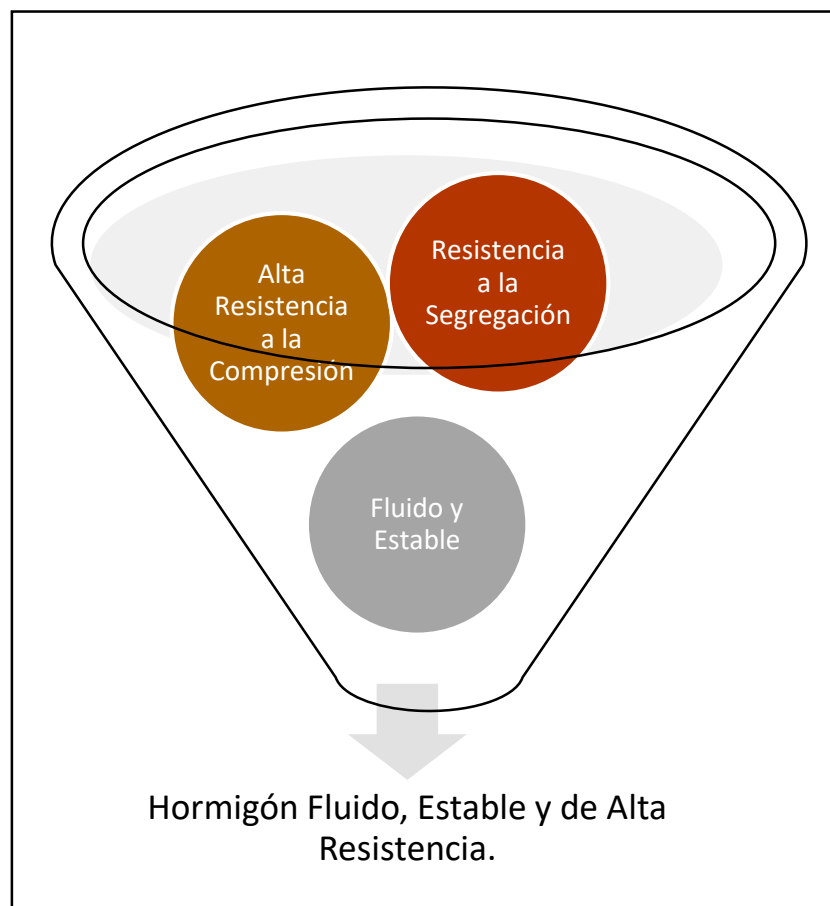


Figura 0.2 Características principales de desempeño del hormigón
Fuente: Autores

4.3 Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño que han sido adoptadas en el presente proyecto están basadas según la norma (ACI 211.4R, 2008) "*Guide for Selecting for High Strength Concrete Portland Cement and other Cementitious Material*", donde se detalla los ensayos a partir de la edad del hormigón, relación a/m.c, agregado fino y grueso (en este proyecto no

interviene en la mezcla), aditivos y adiciones minerales que forman parte de la matriz.

Para obtener la fluidez deseada, se consideró ciertos parámetros del Hormigón Autocompactable, en base a la norma (ACI 237R, 2007) “*Self-Consolidating Concrete*”.

Si bien el diseño propuesto cuenta con arena de cuarzo y polvos reactivos (polvo de cuarzo, microsílíce y filler calcáreo), componentes principales del Hormigón con Polvos Reactivos, el cual forma parte de los UHPC.

En la Figura 4.3. Se detalla un esquema de los factores a trabajar en el diseño para obtener la mezcla óptima.

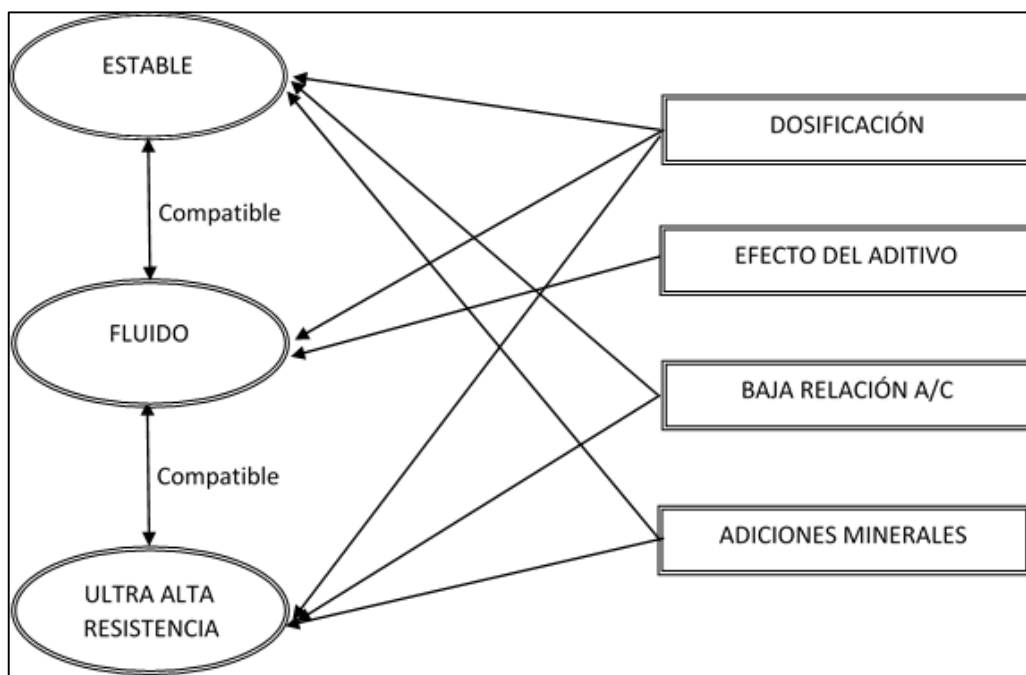


Figura 0.3 Relación entre los factores que influyen en el diseño del hormigón
Fuente: Autores

4.4 Dosificación de Hormigones de Ultra Alto Desempeño.

Los Hormigones de Ultra Alto Desempeño se consideran un material relativamente nuevo, por lo que aún no existe un método universal para determinar las proporciones de sus componentes que este aceptado para su diseño. Sin embargo, a través de varios análisis de investigaciones realizadas describen recomendaciones y consideraciones generales acerca del procedimiento para su dosificación (Serma, y otros, 2014).

Gracias a los numerosos estudios realizados con el objetivo de conocer la composición y el adecuado curado para obtener las más altas resistencias

de compresión en este tipo de hormigón. En la Tabla X. muestra los componentes y proporciones con relación al peso del cemento de diferentes autores.

Cabe mencionar que cada material que forma parte del diseño de un hormigón, debe ser caracterizado para crear una matriz de empaquetamiento denso que permita mejorar las propiedades reológicas y mecánicas, y también reduzca la permeabilidad (Schmidt & Fehling, 2004).

Tabla X Proporciones de las mezclas de UHPC en peso de cemento en la literatura

Composición	(Blais & Couture, 1999)	(Richard & Cheyrezy, 1995)	(Ordoñez Crespo & Egeuz A., 2009)	(Espinoza Montenegro, 2010)	(Kazemi & Lubell, 2012)	(Graybeal & Russell, 2013)	(Niño Parra, 2014)
Cemento (Kg/m³)	1,00	1,00	1,00	1	1,00	1,00	1
Agregado fino de cuarzo/sílice (Kg/m³)	1,42	1,10	1,44	1,15	0,56	1,43	0,99
Polvo de Cuarzo (Kg/m³)	0,30	0,39	0,30	0,2	0,30	0,30	0
Humo de Sílice (Kg/m³)	0,32	0,23	0,33		0,35	0,32	0,2
Agua (Kg/m³)	0,28	0,19	0,31	0,2	0,19	0,15	0,261
Aditivo Súper Plastificante (Kg/m³)	0,03	0,02	0,04	0,025	0,02	0,04	0,035
Aditivo Plastificantes (kg/m³)	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,04	0
Fibras de acero (Kg/m³)	0,27	0,21	0,21	0,25	0,20	0,25	0
a/m.c	0,21	0,15	0,23	0,20	0,14	0,12	0,22
Resistencia a la compresión (MPa)	236,70	170,00	238,70	141,05	239,70	240,70	140,05

4.4.1 Procedimiento para la proporción adecuada de los

componentes del Hormigón Fluido, Estable y Alta Resistencia.

En esta sección se centró en la obtención de dos diseños óptimos del hormigón, que cumplan con los requisitos como la trabajabilidad, estabilidad y alta resistencia a la compresión, según la propuesta del proyecto.

Para determinar las dosificaciones de las materias primas a emplear en el hormigón propuesto y una optimización de los diseños, se realizó la Tabla XI. que indica un rango de variación de los constituyentes básicos según las normas ACI e investigaciones realizadas, la cual fue tomada hasta llegar al diseño óptimo en trabajabilidad y resistencias.

Tabla XI Rango de variación a utilizar.

Composición	Rango de Variación (Kg/m³)
Cemento Portland	450 – 712
Agregado fino de cuarzo/sílice/río	230 - 1020
Polvo de Cuarzo	0 - 337
Humo de Sílice	0 - 230
Filler Calcáreo	0 - 142
Agua	154 - 200
Aditivo Súper Plastificante	10 - 30
Relación a/m.c (El contenido de Humo de Sílice es considerado como un material cementicio y está incluido en esta relación)	0.14 - 0.25

Fuente: Graybeal , Benjamin A.; Russell, Henry G., 2013

Para el diseño del hormigón se proyectó el desarrollo de mezclas finales de HFEAR, con materiales disponibles comercialmente al alcance local.

Inicialmente se planteó desarrollar en especial tres diseños, dos de los cuales cumplan con los parámetros como manejabilidad, contenido de aire y altas resistencias descritos en la Tabla XII. y uno que este cercano a ellos con el objetivo de disminuir costos.

Tabla XII Resumen de los parámetros para el proporcionamiento

Parámetros	
Manejabilidad	200 - 250
Contenido de Aire	1% – 5%
Resistencia a la compresión	≥ 90 MPa
Resistencia a la flexión	≥ 11 MPa
Resistencia a la compresión diametral	≥ 11 MPa
Módulo de Elasticidad	30 GPa
Velocidad de Pulso	> 4575.8 m/s

Fuente: Autores

En la Figura 4.4 se presenta un diagrama de flujo que describe el procedimiento el cual se adoptó para la obtención de los diseños finales.

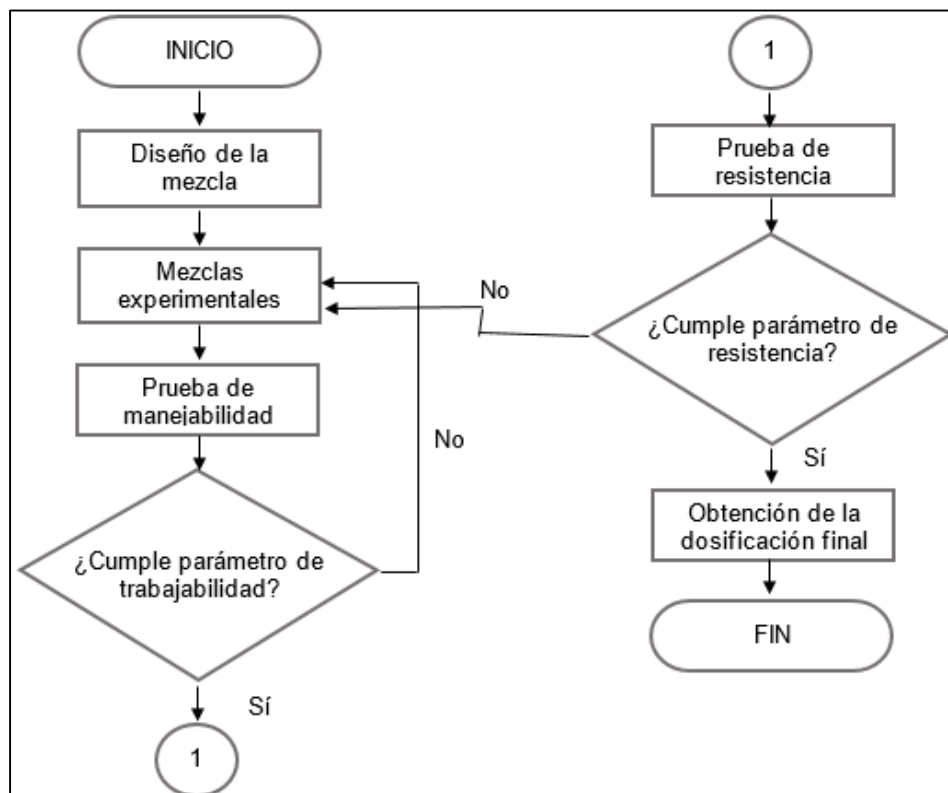


Figura 0.4 Diagrama de flujo para la dosificación final de la propuesta del proyecto.

Fuente: Autores

A partir del rango de variación de los componentes que forman parte para el desarrollo del diseño, presentadas en la Tabla XI., junto con los factores que influyen en el diseño como se muestra en la Figura 4.2. Se establecieron tres dosificaciones volumétricas cuyos resultados se presentan en el CAPITULO 5.

4.5 Elaboración de muestras

En esta sección se centra en la elaboración de las muestras para obtener los tres diseños propuestos. Luego de ser efectuada la mezcla exitosamente, se determinará sus propiedades físicas mediante ensayos en estado fresco y endurecido.

En la Figura 4.5, se puede apreciar con mayor claridad el proceso de elaboración.

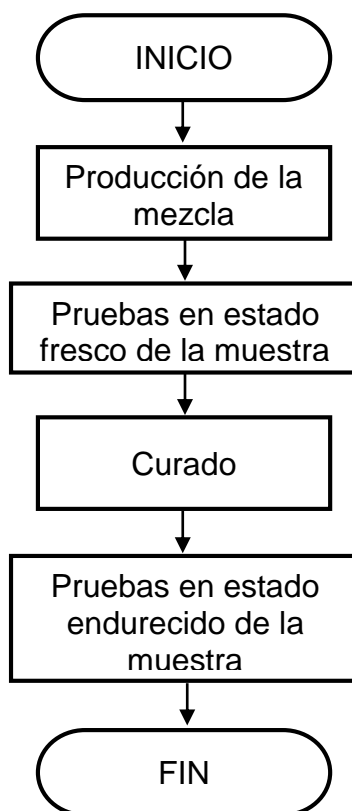


Figura 0.5 Procedimiento para la elaboración de las muestras.

Fuente: Autores

Una vez ya obtenidas las dosificaciones que cumplen con los parámetros establecidos, se procede a la realización de las mezclas siguiendo los procedimientos que dictan las Normas.

Inicialmente, se dosificó 1.5 litros de hormigón en cada diseño, para medir la trabajabilidad y su resistencia en cubos de 50x50x50 mm. de acuerdo a la Norma ASTM C109. Se utilizó una mezcladora HOBART que cuenta con un tazón de mezclado removible con una capacidad nominal de 4,73 litros de acuerdo a la norma ASTM C305.



Figura 0.6 Mezcladora HOBART
Fuente: Autores

Debido al alto contenido de finos en cada diseño y la falta de material fue un impedimento para realizar las mezclas en una concreteira de mayor capacidad, con respecto a la mezcladora empleada.

Para todos los diseños como se muestra en el ANEXO C se adoptó mezclando la arena fina, cemento, polvo de cuarzo, filler calcáreo y microsílíce durante un minuto para homogenizar los materiales, luego se colocó el agua de mezclado junto con el aditivo cada 15 segundos de mezclado para humectar el cemento y obtener la consistencia deseada.

Cada una de las dosificaciones del ANEXO C posee una variación en su procedimiento, debido a que cada una de ellas se comportaba de diferente manera, conforme cómo interactúan con el cemento, la microsílíce y el aditivo superplastificante. Esto se debe a sus proporciones y consistencia, donde pueden ser usadas para diferentes aplicaciones según los requerimientos en el diseño de una estructura.

Finalizado los tiempos de mezclado de cada una de las dosificaciones, se realiza los ensayos experimentales respectivos tanto en estado fresco como endurecido.

4.6 Ensayos experimentales

Los ensayos experimentales que se realizaron en este proyecto se hicieron en base al alcance del Laboratorio de Suelos y Rocas de la Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra (FICT) y del Centro Técnico del Hormigón (CTH).

Las pruebas desarrolladas dan como resultado las características del hormigón tanto en estado fresco como: trabajabilidad y porcentaje de aire que contiene la mezcla tal como en estado endurecido se tiene la resistencia a la compresión, tracción, flexión módulo de elasticidad y velocidad ultrasónica.

4.6.1 Ensayos en estado fresco

4.6.1.1 Trabajabilidad

En el ensayo de trabajabilidad se hace referencia a la norma (ASTM C1437, 2007) *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement method*, por lo que esta norma está destinada a utilizarse con morteros que exhiben un comportamiento fluido y plástico, por lo tanto, es apropiado para UHPC fresco (Graybeal & Russell, Ultra-High

Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community, 2013).

Según la norma (ASTM C1437, 2007) el ensayo consiste en la medición y cálculo en porcentaje del incremento del diámetro de la masa de morteros de cemento hidráulico, mediante una mesa de flujo como se presenta en la Figura 4.7, debido a la acción de 25 caídas en 15 segundos, a menos que se especifique de otra manera.

El promedio de cuatro diámetros permite clasificar su reología de acuerdo a la Tabla V. (Capítulo 2.3.1.1)



Figura 0.7 Mesa de Flujo
Fuente: Autores

4.6.1.2 Contenido de Aire

En el ensayo de contenido de aire en los diseños finales se hace referencia a las normas (ASTM C138, 2014) Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete, la cual consiste en determinar la densidad del hormigón en estado fresco y proporciona fórmulas para el cálculo del rendimiento, el contenido de cemento y el contenido de aire del hormigón.

De acuerdo a la investigación realizada (Chisholm & Lee, 2006) para determinar el contenido de aire en hormigones con polvos reactivo hace referencia de la norma (ASTM C 185) Standard Test Method For Air Content Of Hydraulic Cement Mortar.



Figura 0.8 Equipos a utilizar para determinar el contenido de aire
Fuente: Google

4.6.2 Ensayos en estado endurecido

4.6.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión

Para determinar la resistencia a la compresión de cada una de las dosificaciones realizadas en el proyecto y según la recomendación por el Federal Highway Administration (FHWA) se realizó especímenes en moldes de acuerdo a la norma (ASTM C 109 , 2007), *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*, como se presenta en la Figura 4.9 debido a su alto contenido de finos y la facilidad

de su rotura, pues se trata de un hormigón de muy alta resistencia.

En el diseño que presentó una mayor resistencia a la compresión, se realizó el ensayo de acuerdo a la norma (ASTM C39) *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, donde se moldeó cilindros de 100x200 mm para comprobar sus datos con respecto a los cubos.



Figura 0.9 Ensayo a la compresión en cubos de 50x50 mm
Fuente: Autores

4.6.2.2 Ensayo de Resistencia a la Flexión

Los hormigones que son diseñados para ser usados en carreteras, puentes y losas, se requiere conocer el módulo de rotura (MR), por lo que estudios realizados en Hormigones con Polvo Reactivo, (Maroliya, 2012; León Parra, 2009) llegaron a la conclusión que de acuerdo al tamaño máximo de los componentes del material para este ensayo se utiliza la norma (ASTM C348) *Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic –Cement Mortar*.

El módulo de rotura se obtiene mediante la ecuación descrita en el capítulo 2.



Figura 0.10 Ensayo a la flexión en vigas de 40x40x160 mm
Fuente: Autores

4.6.2.3 Ensayo de Tracción por Compresión Diametral

También conocido como tracción indirecta (ensayo brasileño), se utiliza mediante la norma (ASTM C496) *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, consiste en aplicar una carga lineal distribuida a lo largo de la longitud del espécimen cilíndrico de concreto como se indica en la Figura 4.11 para obtener la resistencia a la compresión diametral.

La fuerza a la tracción indirecta se obtiene mediante la fórmula descrita en el capítulo 2



Figura 0.11 Ensayo a la compresión diametral en cilindros de 100x200 mm
Fuente: Autores

4.6.2.4 Ensayo de Módulo de Elasticidad

Para determinar el módulo de elasticidad se utiliza la norma (ASTM C 469) *Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*, determinar el valor de tensión a esfuerzo de deformación y una relación entre la deformación lateral y longitudinal para el hormigón endurecido.



Figura 0.12 Ensayo para determinación del módulo de elasticidad.
Fuente: Google

4.6.2.5 Ensayo de Ultrasonido

Para determinar el ensayo de determinación del módulo de elasticidad se realizó de acuerdo a la norma (ASTM C597) *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*. El método consiste en determinar la velocidad de propagación del pulso de ondas de esfuerzo longitudinal en el hormigón, por medio de un transductor electro-acústico, como se muestra en la Figura 4.13.

Con la velocidad de propagación de cada diseño se determina la calidad del hormigón mediante la Tabla VI del Capítulo 2



Figura 0.13 Equipo para realizar el ensayo de ultrasonido
Fuente: Autores

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Dosificaciones Finales

Con el fin de lograr los objetivos planteados al inicio del presente proyecto, implico elaborar más de treinta mezclas experimentales en busca de la trabajabilidad y resistencia a la compresión deseada.

Cada mezcla tenía diferentes comportamientos, las cuales cumplían con una o dos propiedades y en algunos casos con ninguna. En el Anexo C, contiene la información acerca de las mezclas experimentales.

Las dosificaciones obtenidas se basaron de acuerdo a la **Tabla XI** del CAPÍTULO 4, por lo que se analizó la opción de aumentar la relación a/m.c, contenido de polvo de cuarzo y reducir el contenido de humo de sílice con el objetivo de disminuir costos, sin que afectara las propiedades de resistencia a la compresión. En la Tabla XIII, presenta las proporciones de las mezclas del presente proyecto, con la cantidad de los componentes expresados en proporciones del peso del cemento, junto con su relación agua-material cementantes (cemento + humo de sílice).

Tabla XIII Dosificaciones finales para los HFEAR en el presente proyecto.

COMPOSICIÓN	1	2	3
Cemento Blanco Tipo I	1.0	1.0	
Cemento Tipo HE			1.0
Arena Silícica	0.87		
Arena de Río		0.87	0.87
Microsilíce	0.1	0.1	0.1
Polvo de Cuarzo	0.7	0.7	0.7
Filler Calcáreo	0.15	0.15	0.15
Agua	0.38	0.42	0.44
Aditivo Superplastificante	0.015	0.02	0.02
Relación a/m.c	0.34	0.38	0.40

Fuente: Autores

Las mezclas del presente proyecto en la Tabla XIII, se compara con dosificaciones de referencia de la literatura en la Tabla 4.1 del capítulo 4.2.3., donde se observa que las mezclas 1, 2 ,3 y 4 existe una menor proporción de humo de sílice con relación al peso del cemento. Además, existe un aumento de su proporción de agua en las presentes mezcla por lo que influye en la relación agua/m.c.

La cantidad de polvo de cuarzo no se mantuvo dentro de los rangos tomados en la literatura según la Tabla XI.

5.2 Resultados del Control de Calidad en Estado Fresco.

Las pruebas realizadas al hormigón de las mezclas en estado fresco presentes en la Tabla XIII, se realizó de acuerdo a los ensayos según el CAPÍTULO 4. Por lo que la fluidez, densidad y contenido de aire incluido por el método gravimétrico y para morteros de cementos hidráulicos fueron obtenidos bajo las normas ASTM 1437, ASTM C 138 y ASTM C185 respectivamente.

La Tabla XIV., presenta las propiedades de las mezclas finales, en estado fresco.

Tabla XIV Características De Mezclado Para Los HFEAR En El Presente Proyecto.

Propiedades	Norma	Mezclas presentadas		
		1	2	3
Manejabilidad dinámica (mm)	ASTM C 1437	300	300	300
Densidad (Kg/m³)	ASTM C 138	2120	1984	2055
Contenido de aire (%)	ASTM C 138	5.78	6.95	6.82

Fuente: Autores

En la tabla XIV., se observa que la mezcla 1 posee una mayor trabajabilidad con respecto a la otras 2, debido a que tuvo una duración de mezclado aproximadamente 11 minutos, debido a la proporciones de las adiciones presente en la mezcla y a su relación a/m.c incrementó su tiempo de mezclado.

Por otra parte, en la Tabla XV presenta unas variaciones en sus propiedades, debido a las distintas características físicas de sus componentes, al método y tiempo de mezclado. Por su ausencia de agregado grueso y baja relación a/m.c incrementan su tiempo de mezclado, por lo que es necesario el uso de un mezclador especial.

Cabe mencionar, de acuerdo al ACI las características de los materiales tienen un marcado efecto en las propiedades los hormigones de Alto Desempeño.

5.3 Resultados de control de calidad del hormigón en estado endurecido.

5.3.1 Resistencia a la Compresión

Para realizar este ensayo hace referencia a las normas la ASTM C109 y ASTM C39, como se indica en el capítulo 4.6.1.

Tabla XV Resultados de resistencias a compresión

ENSAYO DE COMPRESIÓN NORMA ASTM C109				
N° Mezcla	Edad (Días)			
	1	3	7	28
1	63.60	78.30	100.70	114.70
2	51.50	52.50	77.20	107.50
3	25.60	27.50	34.00	52.60
ENSAYO DE COMPRESIÓN NORMA ASTM C39				
1	--	53.00	75.70	94.60

Fuente: Autores

En la Tabla XII, se aprecia los resultados obtenidos mediante el ensayo a compresión en cubos de 50x50 mm de acuerdo a la norma ASTM C109 para las presentes mezclas, así también un ensayo a la mezcla de mayor resistencia con el fin de comprobar la misma en cilindros.

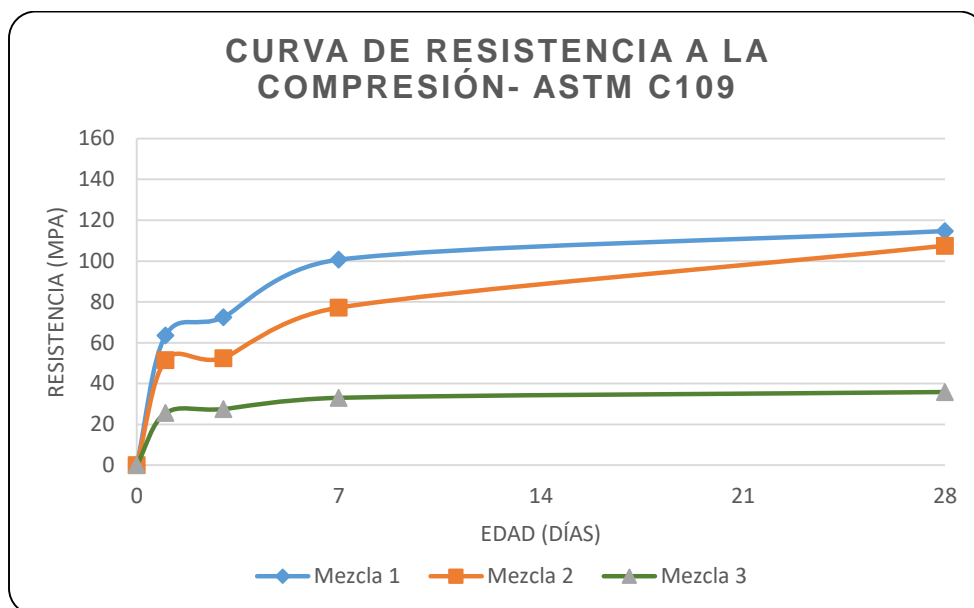


Figura 5.1 Curva de desarrollo de la resistencia a la compresión en cubos.
Fuente: Autores

En la Figura 5.1 se aprecia el comportamiento de las resistencias a la compresión en cubos de 50x50 mm de las distintas mezclas, obtenida a la edad de 1, 3, 7 y 28 días. Los valores que se muestran son las resistencias promedias de cada una de las mezclas presente en la Tabla XIII.

Como se puede observar las mezclas No. 1 y No. 2, a pesar que cada una de ellas posee la misma cantidad de agregado fino, pero de diferentes tipos de arena y relación de a/m.c, sobrepasaron la $f'c$ de diseño de 100 MPa a los 28 días, existiendo una diferencia entre ellas de 3.4 MPa.

En cambio, la mezcla No. 3 al poseer un cemento de alto desempeño como es el Cemento HE y una mayor relación a/m.c; cumplió con el parámetro de trabajabilidad, sin segregarse y porcentaje del contenido de aire, en estado fresco como se muestra en la Tabla 4.1 aunque no logra superar el $f'c$ establecido, su resistencia se encuentra dentro del rango de 41 a 55 MPa para ser considerado un hormigón de alta resistencia de acuerdo al ACI 211. 4R y ACI 363.2R.

5.3.2 Resistencia de Compresión entre la Arena de Ottawa y Arena Silíceo de la Provincia del Oro.

En la Figura 5.2 muestra una comparación de los valores obtenidos de la mezcla No. 1, la cual en el presente proyecto está diseñado con arena silíceo de la Prov. Del Oro, con respecto a la arena de Ottawa.

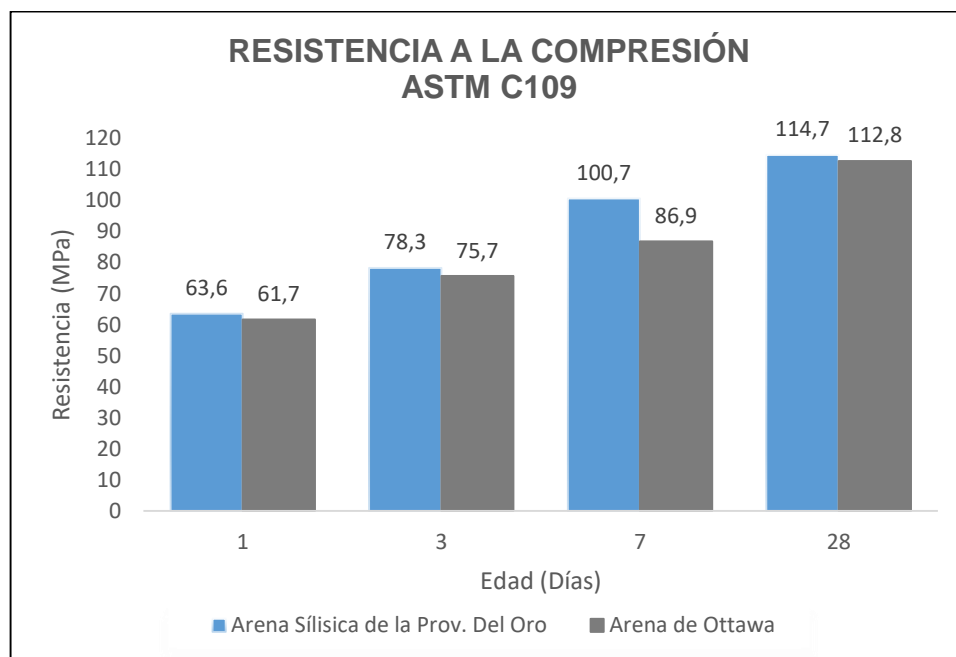


Figura 5.2 Resistencia s a la compresión de la mezcla 1 con arena silícica de la Prov. de Oro y La arena de Ottawa.

Fuente: Autores

La mezcla que se diseña con arena silícica de la Provincia del Oro, proporciona una mayor resistencia a la compresión a edades tempranas que usando la arena de Ottawa, superando los 100 MPa a los 28 días y existiendo una diferencia entre ellas de 1.9 MPa.

La diferencia de resistencia entre las dos mezclas, se debe porque el MF que presenta la arena silícica nacional es 2.9 con respecto al MF de 1.8 de la arena de Ottawa. De acuerdo a un estudio realizado por (Espinoza Montenegro, 2010), menciona que las partículas de mayor tamaño en la matriz contribuyen al grado de homogeneidad que se

desea llegar, en cambio las partículas de granos más pequeños inducen una inestabilidad en el empaquetamiento con las partículas más grandes.

5.3.3 Ultrasonido

En la Figura 5.3 muestra la evolución de la velocidad ultrasónica de las 3 mezclas seleccionada para presente proyecto.

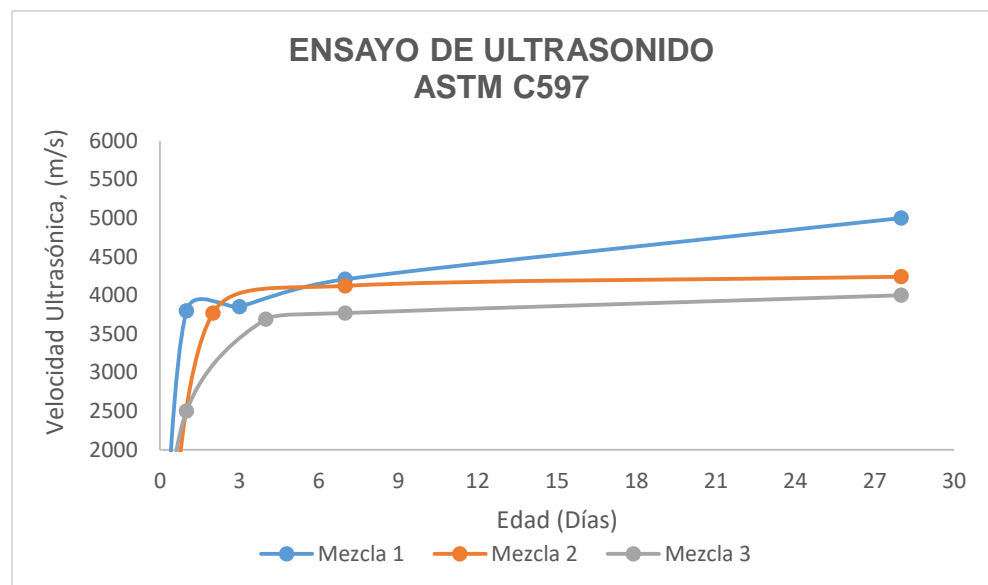


Figura 5.3 Curva de desarrollo de la velocidad ultrasónica Vs. Edad
Fuente: Autores

En la Figura 5.3 se observa que a medida transcurre el tiempo de curado, disminuye el tiempo de recorrer el pulso ultrasónico en la probeta, dando lugar a un incremento de la velocidad de propagación de la onda.

De acuerdo a los valores obtenidos a los 28 días de las mezclas propuestas en el presente proyecto, se puede clasificar la calidad de ellas mediante la Tabla VI del CAPÍTULO 2. Por lo tanto, los resultados de la velocidad ultrasónica de cada mezcla son:

- De la mezcla 1, su velocidad ultrasónica es de 5000 m/s y se lo considera como un hormigón de excelente calidad.
- Las mezclas 2 y 3, sus velocidades ultrasónicas se encuentran en el rango 4575 y 3660 como indica la Tabla VI, por lo tanto son hormigones de buena calidad.

5.3.4 Módulo de Elasticidad Dinámico y Relación de Poisson

En la Tabla XVI., se muestran los valores de densidad, velocidad ultrasónica y módulo elásticos calculados a través de las ecuaciones 2.7 y 2.8 para las mezclas estudiadas a los 28 días.

De acuerdo al rango de variación del módulo de Poisson que se establece en el capítulo 2.7.1, y según él (ACI Committee 363, 1997), se ha decidido que el módulo de Poisson sea igual 0,20.

Tabla XVI Cálculo del módulo elástico a partir de la velocidad ultrasónica.

Nº Mezcla	D (Kg/m ³)	V _{ult} (m/s)	E _d (GPa)
1	2283	5000	39.5
2	2179.69	4240	35.2
3	2178.49	4208	34.2

Fuente: Autores

El método de medida del módulo de elasticidad dinámico (E_d) resulta extraordinariamente simple, por como era de esperar el valor de E_d a los 28 días de la mezcla 1 y 2, fueron mayores a 35 GPa que la mezcla 3.

5.3.5 Resistencia a la Flexión

Para realizar el ensayo de flexión se realiza unas vigas de 160x40x40 mm de dimensiones, basándose según la norma ASTM C348, de acuerdo al CAPÍTULO 4.

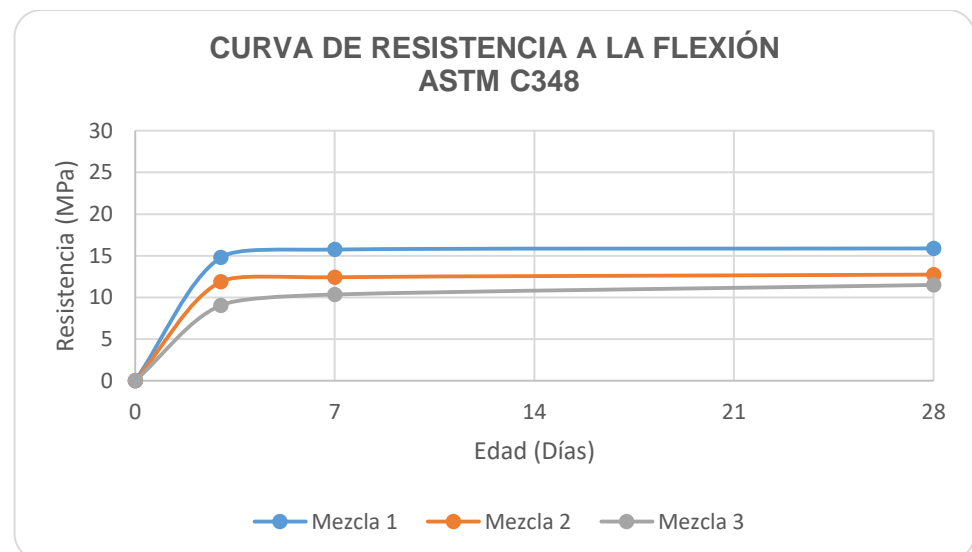
En la Tabla XVII., se muestran los valores del módulo de rotura obtenidos a través de la ecuación 2.1 del CAPÍTULO 2 para las mezclas estudiadas a diferentes edades hasta a los 28 días.

Tabla XVII Resultados de resistencias a la flexión de vigas de 40x40x160 mm

N° Mezcla	ENSAYO DE FLEXIÓN (MPa)		
	Edad (Días)		
	3	7	28
1	14,79	15,74	15,88
2	11,88	12,42	12,73
3	9,04	10,35	11,50

Fuente: Autores

En la Figura 5.4 Curva de desarrollo de la Resistencia a la flexión se aprecia el comportamiento de las resistencias a la flexión desarrolladas de cada prueba, a distintas edades.

**Figura 5.4** Curva de desarrollo de la Resistencia a la flexión

Fuente: Autores

5.3.6 Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral

Para determinar el ensayo de determinación a la tracción se lo realiza de acuerdo a la norma ASTM C496 (Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens).

Tabla XVIII Resultados de resistencia de tracción diametral

N° Mezcla	ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (MPa)		
	Edad (Días)		
	3	7	28
1	4.33	6.68	8.90
2	3.06	5.87	7.83
3	2.84	3.58	4.77

Fuente: Autores

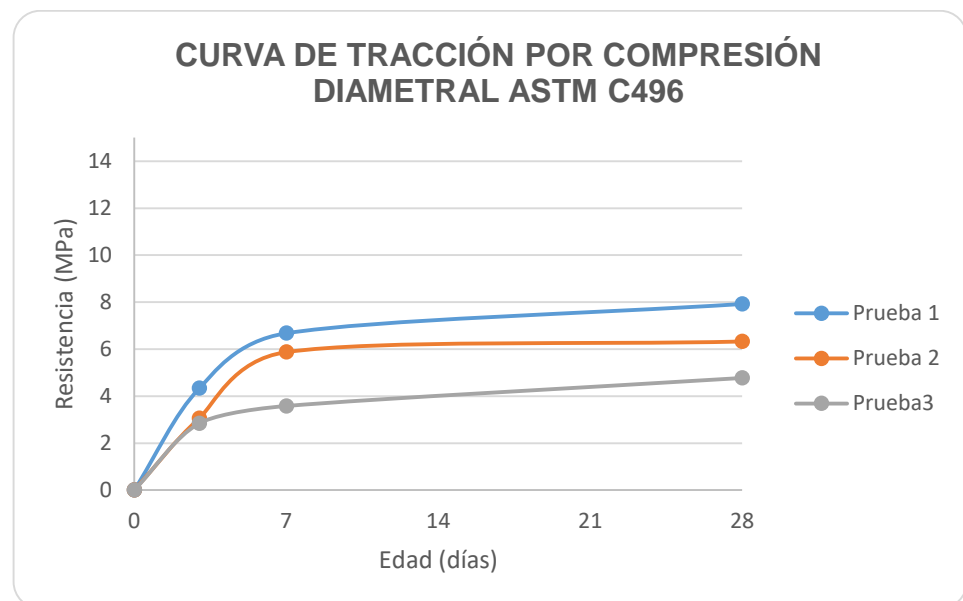


Figura 5.5 Curva de desarrollo de la tracción indirecta

Fuente: Autores

CAPÍTULO 6

ESTUDIO Y PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

6.1 Antecedentes

En este capítulo se realizará detalladamente un Estudio del Impacto Ambiental generado por la fabricación de Hormigones Fluidos y Estables de Ultra Altas Resistencias. La apropiada gestión ambiental que se mantenga dentro del proceso de fabricación, garantizará la subsistencia de la fauna, flora y de la población cercana a la planta mezcladora, dentro de un entorno saludable y libre de contaminantes a lo largo del ciclo de producción.

Debido al compromiso ambiental, se garantiza la correcta ejecución de auditorías a todas las actividades planificadas durante el proceso de fabricación en donde las cuales puedan producir una afectación al medio ambiente y a la población. Los procesos deben cumplir con lo estipulado por el Texto Unificado de la Ley Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA, 2015).

El objetivo del estudio ambiental es analizar cuantitativamente los impactos que se producen debido a las actividades en el proceso de fabricación y de esta manera determinar soluciones adecuadas para la mitigación de los impactos que se generen.

6.2 Objetivos

6.2.1 Objetivo General

Analizar las actividades más representativas que generen los mayores impactos ambientales dentro del ciclo de fabricación de los Hormigones Fluidos y Estables de Ultra Altas Resistencias (HFEUAR).

6.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar las actividades durante la fase de producción de los hormigones que mayor impacto negativo generen sobre el medio ambiente y la población.
- Mantener el compromiso ambiental para la protección de los recursos naturales y ejercer el cumplimiento de normas, reglamentos y leyes competente.
- Facilitar al personal el conocimiento sobre las técnicas de defensa ambiental que deben ser considerados durante la ejecución del proceso de fabricación.

6.3 Descripción General Del Área De Estudio

La información detallada acerca del proceso de fabricación y ubicación de donde se obtienen las materias primas se encuentran en capítulos anteriores.

6.3.1 Legislación y Estándares Ambientales

En base a la Constitución.

Libro VI: De la Calidad Ambiental:

Se muestra en sus anexos lo siguiente:

- **Anexo 1:** Norma de la calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua
- **Anexo 2:** Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados.
- **Anexo 3:** Norma de Emisiones al aire desde fuentes fijas de combustión.
- **Anexo 4:** Norma de calidad del aire Ambiente.
- **Anexo 5:** Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones.

- **Anexo 6:** Norma de Calidad Ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos.
- **Anexo 7:** Listados Nacionales de Productos Químicos prohibidos Peligrosos y de uso Severamente Restringidos que se utilicen en el Ecuador.

6.4 Procedimientos Generales Que Se Deben Seguir Según La Constitución De La República

A modo de mejoramiento del MGA (Manual de Gestión Ambiental), y como parte primordial constitutiva, se ha desarrollado el Plan de Manejo Ambiental de Obras, PMA. Este plan implanta la responsabilidad en la protección del medio ambiente durante la ejecución de una obra. Esta responsabilidad será observada efectuando los siguientes compromisos:

- Efectuar con lo conveniente en el Plan de Manejo Ambiental establecido por la Constitución de la República, por lo cual se derivará entre otras cosas a llevar a cabo una adecuada gestión de todos los residuos sólidos, líquidos y semisólidos generados durante la etapa de construcción.
- Efectuar con las normas vigentes para la protección del medio ambiente y las condiciones ecológicas de los lugares.

- Demandar a todos los contratistas que ejecutan tareas de obras que estén comprometidos y enterados, y den cumplimiento con las exigencias ambientales especificadas en el proyecto durante todas sus actividades de obra.

6.5 Descripción De La Línea Base

Al construirse la planta de producción de hormigón en un lugar industrializado, no existe la presencia de escorrentía superficial y de aguas subterráneas, en este caso se cuenta con tuberías que forman parte de la red de alcantarillado y distribución de agua potable de la zona.

En los alrededores de la zona industrial existe la presencia de fauna y flora endémica del sector, la flora existente en la zona son árboles, en donde los cuales bien pueden ser afectados, no lo serán en una gran medida ya que el perímetro de la zona industrial está considerablemente lejos de los mismos como de la fauna.

El suelo en que se ubicó la planta de producción ya está previamente afectado por edificaciones y galpones industriales construidos anteriormente, el lugar designado para la construcción de la planta se encuentra a una distancia considerable de viviendas familiares, por lo que los habitantes de estos inmuebles no se verán afectados por el ruido que

generará la maquinaria industrial para el tamizado, molienda y mezclado de las materias primas necesarias en la producción de hormigones.

6.6 Actividades A Evaluar

Descripción de actividades en fase de producción:

- Transporte de materiales.
- Tamizado del agregado fino.
- Molienda del agregado fino.
- Almacenamiento de materiales.
- Mezclado de materiales.
- Generación de desechos sólidos.
- Generación de aguas residuales.

6.7 Evaluación Ambiental

Durante la fase de producción al ser analizadas las diferentes actividades, se generan las siguientes matrices de evaluación BID (Banco Interamericano de Desarrollo):

6.7.1 Matriz Intensidad

El valor numérico de la matriz intensidad varía entre 1-10 dependiendo del grado de cambio sufrido, siendo 10 el valor de mayor impacto ambiental, 1 muy bajo impacto ambiental y el valor de 0 se designa a impactos ambientales leves o imperceptibles.

Tabla XIX Matriz De Intensidad

MATRIZ INTENSIDAD												
#	ACTIVIDADES	Agua		Recurso Suelo	Aire		Fauna			Flora	F. Socioeconómicos	
		Superficial	Subterránea		Ruido	Gases	Acuática	Terrestre	Aérea		Generación de Empleo	Beneficio de la comunidad
1	Transporte de materiales	1		8	7	9	1	6		6	10	
2	Tamizado del agregado fino	1			8	5				5	8	
3	Molienda del agregado fino	3			8	8		3			6	
4	Almacenamiento de materiales			6	3	4				2	4	
5	Mezclado de materiales	8	1	5	8	8	3			3	10	
6	Generación de desechos sólidos	6		7			2	4				
7	Generación de aguas residuales	10	2	5	2	2	6			4		
TOTAL, VALORES DE MATRIZ INTENSIDAD		218										

Fuente: Autores

6.7.2 Matriz Extensión

El valor numérico de la matriz extensión es de (10) para impactos ambientales regionales, (5) para impactos ambientales locales, (1) para impactos ambientales puntuales y (0) que se consideran no causantes de daño.

Tabla XX Matriz De Extensión

MATRIZ EXTENSIÓN												
#	ACTIVIDADES	Agua		Recurso Suelo	Aire		Fauna			Flora	F. Socioeconómicos	
		Superficial	Subterránea		Ruido	Gases	Acuática	Terrestre	Aérea		Generación de Empleo	Beneficio de la comunidad
1	Transporte de materiales			1	10	10		1		1	5	
2	Tamizado del agregado fino	1		1	1	1					5	
3	Molienda del agregado fino	1		1	1	1		1		1	5	
4	Almacenamiento de materiales			1	1	1					5	
5	Mezclado de materiales	1	1	1	1	1	1	1		1	5	
6	Generación de desechos sólidos	1		1			1	1				
7	Generación de aguas residuales	1	1	1			1	1		1		
TOTAL, VALORES DE LA MATRIZ EXTENSIÓN		79										

Fuente: Autores

Fuente: Autores

6.7.4 Matriz Signo

La matriz signo como su nombre lo indica no está destinada a un valor numérico sino con signos, donde valores de (-1) serán para impactos ambientales negativos, (+1) impactos ambientales positivos y sin signo si es que no se causa ningún impacto en el medio ambiente.

Tabla XXII Matriz Signo

MATRIZ SIGNO												
#	ACTIVIDADES	Agua		Recurso Suelo	Aire		Fauna			Flora	F. Socioeconómicos	
		Superficial	Subterránea		Ruido	Gases	Acuática	Terrestre	Aérea		Generación de Empleo	Beneficio de la comunidad
1	Transporte de materiales	-1		-1	-1	-1		-1			1	
2	Tamizado del agregado fino			-1	-1	-1		-1		-1	1	
3	Molienda del agregado fino			-1	-1	-1		-1			1	
4	Almacenamiento de materiales			-1	-1			-1		-1	1	
5	Mezclado de materiales	-1	-1	-1	-1	-1		-1		-1	1	
6	Generación de desechos sólidos	-1		-1				-1	-1	-1	1	
7	Generación de aguas residuales	-1	-1	-1	-1			-1	-1	-1	1	

Fuente: Autores

6.7.5 Matriz Magnitud:

Los valores numéricos de la matriz magnitud están dados por las matrices, intensidad, duración y extensión, y cada una por su factor correspondiente. Para la Matriz Intensidad un factor de 0.62, para la Matriz Extensión 0.23 y para la Matriz Duración de 0.15; donde el valor de la Matriz Magnitud estará dado como: $M = \pm (Intensidad * Fint.) + (Extensión * Fext.) + (Duración * Fdur.)$

Tabla XXIII Matriz Magnitud

MATRIZ MAGNITUD DE IMPACTO (1era Matriz Calculada)												
#	ACTIVIDADES	Agua		Recurso Suelo	Aire		Fauna			Flora	F. Socioeconómicos	
		Superficial	Subterránea		Ruido	Gases	Acuática	Terrestre	Aérea		Generación de Empleo	Beneficio de la comunidad
1	Transporte de materiales	-0.6	0.0	-5.3	-6.8	-8.0	0.0	-4.1	0.0	0.0	8.1	0.0
2	Tamizado del agregado fino	0.0	0.0	-0.4	-5.3	-3.5	0.0	-0.2	0.0	-3.3	6.9	0.0
3	Molienda del agregado fino	0.0	0.0	-0.2	-5.3	-5.3	0.0	-2.2	0.0	0.0	5.6	0.0
4	Almacenamiento de materiales	0.0	0.0	-4.1	-2.1	0.0	0.0	-0.2	0.0	-1.4	4.4	0.0
5	Mezclado de materiales	-5.3	-0.8	-3.5	-5.3	-5.3	0.0	-0.2	0.0	-2.2	8.1	0.0
6	Generación de desechos sólidos	-4.1	0.0	-4.7	0.0	0.0	-1.5	-2.9	0.0	0.0	0.0	0.0
7	Generación de aguas residuales	-6.6	-1.6	-3.3	-1.2	0.0	-4.1	-0.4	0.0	-2.7	0.0	0.0
TOTAL, VALORES DE MATRIZ MAGNITUD DE IMPACTO		-81.3										

6.7.6 Matriz Reversibilidad

El valor numérico de la matriz reversibilidad varía de 1 a 10 dependiendo del grado de reversibilidad que pueda tener los impactos, siendo (10) impactos irreversibles, (8) reversibles a largo plazo, (5) parcialmente reversibles y (1) altamente reversibles.

Tabla XXIV Matriz Reversibilidad

MATRIZ REVERSIBILIDAD												
#	ACTIVIDADES	Agua		Recurso Suelo	Aire		Fauna			Flora	F. Socioeconómicos	
		Superficial	Subterránea		Ruido	Gases	Acuática	Terrestre	Aérea		Generación de Empleo	Beneficio de la comunidad
1	Transporte de materiales	1		10	1	5		1		8	0	
2	Tamizado del agregado fino			1	5	5		1		1	0	
3	Molienda del agregado fino	1		1	5	8		1		1	0	
4	Almacenamiento de materiales			8	1			5		5	0	
5	Mezclado de materiales	5	8	1	1	1		1		1	0	
6	Generación de desechos sólidos	5		1			1	1		5	0	
7	Generación de aguas residuales	5	8	1			8	5		5	0	
TOTAL, VALORES DE MATRIZ REVERSIBILIDAD		138										

Fuente: Autores

6.7.7 Matriz Riesgo

El valor numérico de la matriz riesgo varía dependiendo de la probabilidad de que ocurran impactos a los componentes ambientales, siendo (10) Impactos de alta probabilidad de ocurrencia, (5) Probabilidad media y (1) Probabilidad baja.

Tabla XXV Matriz Riesgo

MATRIZ RIESGO												
#	ACTIVIDADES	Agua		Recurso Suelo	Aire		Fauna			Flora	F. Socioeconómicos	
		Superficial	Subterránea		Ruido	Gases	Acuática	Terrestre	Aérea		Generación de Empleo	Beneficio de la comunidad
1	Transporte de materiales	1		10	5	5		1		1	0	
2	Tamizado del agregado fino	1		5	5	1		5		5	0	
3	Molienda del agregado fino	1		5	5	5		1		1	0	
4	Almacenamiento de materiales			5	1	1		1		5	0	
5	Mezclado de materiales	5	5	10	5	5		1		1	0	
6	Generación de desechos sólidos	10		5			5	5		5	0	
7	Generación de aguas residuales	10	1	10			5	1		5	0	
TOTAL, VALORES DE MATRIZ RIESGO		170										

Fuente: Autores

6.7.8 Matriz Valoración De Impacto Ambiental (V.I.A)

Los valores están dados por las matrices, magnitud, reversibilidad y riesgo, y cada una por un factor correspondiente. Para la Matriz Magnitud un factor de 0.21, para la Matriz Riesgo 0.44 y para la Matriz Reversibilidad de 0.35; donde el valor de la matriz V.I.A estará dado como: $V.I.A. = (Reversibilidad \cdot F_{rev}) \cdot (Riesgo \cdot F_{riesgo}) \cdot |M| \cdot F_{mag}$.

Tabla XXVI Matriz De Valoración De Impacto Ambiental

MATRIZ VALORACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (VIA) (2da Matriz Calculada)														
#	ACTIVIDADES	Agua		Recurso Suelo	Aire		Fauna			Flora	F. Socioeconómicos		Subtotales Por	Promedio Por Actividad
		Superficial	Subterránea		Ruido	Gases	Acuática	Terrestre	Aérea		Generación de Empleo	Beneficio de la comunidad		
1	Transporte de materiales	2.9	0.0	6.4	4.5	5.3	0.0	3.3	0.0	3.1	1.5	0.0	27.1	2.5
2	Tamizado del agregado fino	1.0	0.0	3.8	5.2	4.1	0.0	3.7	0.0	4.3	1.5	0.0	23.6	2.1
3	Molienda del agregado fino	2.0	0.0	3.8	5.2	5.5	0.0	3.2	0.0	2.0	1.4	0.0	23.1	2.1
4	Almacenamiento de materiales	0.0	0.0	5.5	3.2	1.0	0.0	3.4	0.0	4.9	1.4	0.0	19.3	1.8
5	Mezclado de materiales	5.2	5.1	5.0	4.4	4.4	0.0	2.7	0.0	3.2	1.5	0.0	31.7	2.9
6	Generación de desechos sólidos	5.8	0.0	4.4	0.0	0.0	4.1	4.3	0.0	3.8	0.0	0.0	22.4	2.0
7	Generación de aguas residuales	6.0	4.2	5.0	1.0	0.0	5.5	3.6	0.0	5.0	0.0	0.0	30.3	2.8
Subtotales por Recurso		22.9	9.3	33.9	23.6	20.4	9.6	24	0.0	26.2	7.4	0.0		
Promedio Por Recurso		3.3	1.3	4.8	3.4	2.9	1.4	3.5	0.0	3.7	1.1	0.0		

Fuente: Autores

6.7.9 Rango De Significancia De La Matriz V.I.A

Indica el nivel de impacto que tendrán las actividades en cada uno de los componentes ambientales, su valor numérico varía de 0 a 10, siendo (0) Neutro, (1-4) Bajo, (4-7) Medio y de (7-10) Alto.

Tabla XXVII Matriz V.I.A - Cualitativamente

MATRIZ VALORACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (VIA) - (Cualitativamente)														
#	ACTIVIDADES	Agua		Recurso Suelo	Aire		Fauna			Flora	F. Socioeconómicos		Subtotales Por Actividad	Promedio Por Actividad
		Superficial	Subterránea		Ruido	Gases	Acuática	Terrestre	Aérea		Generación de Empleo	Beneficio de la comunidad		
1	Transporte de materiales	B	N	M	M	M	N	B	N	B	B	N	0.0	N
2	Tamizado del agregado fino	B	N	B	M	M	N	B	N	M	B	N	2.1	B
3	Molienda del agregado fino	B	N	B	M	M	N	B	N	B	B	N	2.1	B
4	Almacenamiento de materiales	N	N	M	B	B	N	B	N	M	B	N	1.8	B
5	Mezclado de materiales	M	M	M	M	M	N	B	N	B	B	N	2.9	B
6	Generación de desechos sólidos	M	N	M	N	N	M	M	N	B	N	N	2.0	B
7	Generación de aguas residuales	M	M	M	B	N	M	B	N	M	N	N	2.8	B
Promedio Por Recurso		0.0	1.3	4.8	3.4	2.9	1.4	3.5	0.0	3.7	1.1	0.0		
Cualitativo por Recurso		N	B	M	B	B	B	B	N	B	B	N		

Fuente: Autores

6.8 Plan De Mitigación De Impactos

Durante la fase de producción de los hormigones fluidos y estables de ultra altas resistencias (HFEUAR). Las normas tanto de seguridad industrial y ambiental exigen el cumplimiento de parámetros establecidos por las mismas. Estas normas tienen la finalidad de resguardar la seguridad del personal que ejerce labores y la preservación de la fauna y flora del sector donde se encuentra la planta hormigonera, por lo tanto, es necesario que según lo observado en la fase de producción se aplique lo siguiente:

6.8.1 Encargado De Producción

- Uso obligatorio del Equipo de Protección Personal (EPP), a todo el personal dentro de la planta durante la fase de producción.
- Utilización de cascos de colores para distinguir la actividad que realiza el personal, chalecos reflectivos los cuales brindan de una mayor seguridad.
- Utilización de mascarilla dependiendo del tipo de actividad que se realice, usualmente se empleará mascarillas especiales contra material particulado, en donde las cuales evitaran el ingreso de polvo al aparato respiratorio.

- Utilización de botas punta de acero, para proteger los pies contra clavos, caída accidental de materiales o herramientas pesadas.
- Utilización de guantes dependiendo de la actividad a realizar, los cuales son muy útiles al momento de evitar cortaduras, quemaduras y aplastamiento.
- Utilización de orejeras según amerite el caso, para la protección auditiva contra la generación de ruido elevado y continuo, que usualmente lo emiten la maquinaria pesada, la tamizadora, el molino de bolas y la mezcladora de materiales.

6.8.2 Obreros

- Todo el personal debe poseer el Equipo de Protección Personal (EPP) adecuado a la actividad que realiza, el cual brindará de seguridad durante el trabajo a ejecutar.
- Será obligatorio para el personal el uso del arnés de seguridad desde mínimo 3m de altura, en actividades que se encuentre en riesgo de caída.

- Empleo de guantes cuando se requiera como por ejemplo durante el desencofrado de cilindros para el ensayo de resistencia a la compresión del hormigón, debido a que el obrero puede sufrir cortaduras con los bordes afilados de los moldes.

- Uso diario de pantalón largo y camisa manga larga para evitar quemaduras provocadas por el sol, derrame de hormigón sobre el cuerpo y rasgaduras.

- Uso frecuente de mascarillas por motivo del material particulado que se encuentra presente en el aire a causa del tamizado, molienda y mezclado de los materiales que componen a los HFEAR.

6.8.3 Áreas De Alto Riesgo

Disponer del uso de conos y cintas u otros implementos de seguridad correctamente ubicados en zonas donde exista el tránsito de vehículos de carga y descarga, maquinaria pesada y otro tipo de vehículos dentro y fuera de la planta hormigonera.

En lo que respecta a los impactos ambientales causados por las actividades a realizarse, como medidas de mitigación de impactos se plantean las siguientes:

6.9 Descripción De Actividades En Fase De Producción:

6.9.1 Transporte De Materiales

En esta actividad se realiza el correspondiente transporte de las materias primas como lo son la arena, cemento, aditivos y adiciones minerales, en donde uno de los mayores impactos que se genera es la emisión de dióxido de carbono (CO₂), producto de la combustión interna de combustibles fósiles y adicionalmente la generación de aceites y grasas usados en los vehículos.

Se procede al reciclaje de los desechos sólidos y líquidos generados en los mantenimientos de los vehículos y de esta forma disminuir el impacto ambiental.

6.9.2 Tamizado Del Agregado Fino

En esta actividad se realiza cuidadosamente el tamizado de la arena que será empleada en el diseño de hormigón requerido, con la finalidad de remover cualquier tipo de impureza que perjudique a la mezcla durante el proceso de mezclado, para este proceso se

utilizará el tamiz #8 en donde se escogerá todo el material pasante de este tamiz.

La ventaja que brinda esta actividad es que la maquinaria empleada para tamizar utiliza energía eléctrica la cual no genera dióxido de carbono, reduciendo así la contaminación al aire.

Se procede al reciclaje de los desechos sólidos y líquidos generados en los mantenimientos de la maquinaria en donde se requiere disminuir el impacto por el consumo de aceites y grasas para el motor del tamizador.

6.9.3 Molienda Del Agregado Fino

En esta actividad se realiza la correspondiente molienda de los materiales para la producción de los polvos reactivos en donde cada polvo tiene un procedimiento de molienda diferencial ya que el tamaño de partícula varía dependiendo del tiempo de molido de cada uno.

Una de las ventajas que brinda esta actividad es que la maquinaria empleada no genera dióxido de carbono ya que consume energía eléctrica en vez de combustibles fósiles.

Se procede al reciclaje de los desechos sólidos y líquidos generados en los mantenimientos de la maquinaria en donde se requiere disminuir el impacto por el consumo de aceites y grasas para el motor del molino de bolas.

6.9.4 Almacenamiento De Materiales

En esta actividad se realiza el almacenamiento adecuado de los materiales que serán empleados en las mezclas de hormigón, como lo son el cemento y los polvos reactivos los cuales se guardan en silos metálicos, las arenas que serán usadas para la producción de polvos se las almacena en un lugar seco y libre de humedad.

El impacto ambiental que se genera por el almacenamiento de los materiales es muy bajo debido a que no se genera ningún tipo de desecho sólido o líquido, únicamente se requiere de un área amplia y libre de obstáculos.

6.9.5 Mezclado De Materiales

En esta actividad se realiza el mezclado de los materiales que componen al hormigón, en donde se dosifica cuidadosamente mediante dosificadores mecánicos controlados por computadoras, los cuales vierten los materiales dentro de un tambor con aspas giratorias que realizan el proceso de mezclado.

El impacto ambiental ocasionado por el mezclado de los materiales es medio debido a que se generan desechos sólidos o líquidos, un consumo de energía eléctrica elevado y el consumo de lubricantes para el correcto funcionamiento de elementos mecánicos.

6.9.6 Generación De Desechos Sólidos

Para minimizar la contaminación hacia el recurso suelo, se deben clasificar y dar un tratamiento adecuado a los residuos sólidos producidos en función de su naturaleza.

El uso del recurso suelo para el almacenamiento de los desechos sólidos generados por la producción de hormigones será la mínima posible, ya que todos estos desechos serán entregados a un gestor calificado para su correspondiente tratamiento.

Instalación adecuada de la señalización en las zonas altamente transitadas y de las áreas de actuación. De esta forma poder optimizar la ocupación del recurso suelo.

Motivar a la implementación de programas de reciclaje y Co-procesamiento de residuos sólidos en las industrias.

6.9.7 Generación De Aguas Residuales

No verter aguas negras o contaminadas a los cauces públicos (ríos, arroyos, lagunas, etc.), ya que caso contrario causaría un gran impacto ambiental sobre la fauna y flora del sector, provocando la muerte de muchas especies.

Dar un tratamiento previo al agua que se emplea para el lavado de la mezcladora y de los camiones mixers.

Se proyecta disponer de tanques de almacenamiento, para recolectar el producto de derrames accidentales o cualquier incidente de este tipo, que pueda generarse en la actividad de mezclado.

Construcción y mantenimiento para una correcta disposición de los efluentes (sistema de drenaje, desbaste, cámara sedimentadora de sólidos, etc.), para de esta forma remover todos los sólidos en suspensión del agua empleada y así minimizar los impactos ambientales.

Una actividad de mitigación general será brindar charlas trimestrales para sensibilizar a todo el personal que sea vinculado con la producción de los HFEAR, sobre temas ambientales, sociales, seguridad industrial y salud ocupacional, con la finalidad de incentivar a la conciencia ambiental de los trabajadores, frente a la ejecución de sus actividades, para prevenir los potenciales impactos de gran relevancia.

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y RESTRICCIONES

7.1 Análisis de las dosificaciones propuestas

En este capítulo se proponen cinco alternativas de diseño para la elaboración de hormigones fluidos, estables y de altas resistencias (HFEAR), empleando en la mezcla polvos reactivos como sustitución del agregado grueso y verificando el mejor desempeño que se obtiene al utilizar tres clases de cementos y tres tipos de arenas.

Los polvos reactivos que se emplean en los diseños preestablecidos son microsílíce, filler calcáreo y polvo de cuarzo; todos estos con una proporción constante con respecto a la masa de cemento, el porcentaje de cada polvo se demostrará a continuación:

$$\frac{\textit{Microsílíce}}{c.} = 10\%$$

$$\frac{\textit{Filler Calcáreo}}{m. c} = 15\%$$

$$\frac{\textit{Polvo de Cuarzo}}{m. c} = 70\%$$

Así mismo las proporciones de los diferentes tipos de cemento y de los agregados finos (arenas), se mantienen constantes una vez obtenida la cantidad adecuada en la mezcla, la proporción aproximada de estos materiales dentro de la masa total de la mezcla es la siguiente:

$$\frac{\textit{cemento}}{\textit{Masa total}} = 31\%$$

$$\frac{\textit{arena}}{\textit{Masa total}} = 27\%$$

Para maximizar el desempeño en los diseños realizados, fue necesario mantener constante ciertos parámetros como lo son el cemento y la arena, mientras que se hacía variaciones en la proporción de los polvos, el aditivo y el agua; hasta encontrar un equilibrio entre la fluidez, trabajabilidad, estabilidad y resistencia.

Encontrando durante los ensayos realizados cinco diseños que cumplen con los requisitos fijados en el presente proyecto, los cuales a continuación serán mostrados:

7.1.1 Descripción de la mezcla No. 1

En la mezcla No. 1 se propone como material cementante el cemento blanco Portland Tipo I, como agregado fino la arena de cuarzo silícica, como polvos reactivos el Microsilíce, filler calcáreo y polvo de cuarzo, como aditivo se emplea un superplastificante de alto rango ViscoCrete 2100 y finalmente el uso de agua potable entre rangos de temperatura de (10°C – 25°C).

En esta alternativa la resistencia a la compresión evaluada es la mayor de todos los diseños, pero el costo de fabricación de este hormigón es el más alto ya que se emplea la arena de cuarzo silícica, en donde la misma es transportada de canteras lejanas a la provincia del Guayas.

7.1.2 Alternativa de la mezcla No. 2:

En la mezcla No. 2 se propone como material cementante el cemento blanco Portland Tipo I, como agregado fino la arena de río lavada, como polvos reactivos el Microsilíce, filler calcáreo y polvo de cuarzo, como aditivo se emplea un superplastificante de alto rango ViscoCrete 2100 y finalmente el uso de agua potable entre rangos de temperatura de (10°C – 25°C).

En esta alternativa la resistencia a la compresión evaluada es la segunda mayor de todos los diseños, el costo de fabricación de este hormigón es menor que el diseño #1, ya que se emplea arena de río lavada la cual tiene un menor costo y se la puede encontrar localmente dentro de la provincia del Guayas en canteras del río BuluBulu.

7.1.3 Descripción de la mezcla No.3:

En la mezcla No. 3 se propone como material cementante el cemento blanco Portland Tipo I, como agregado fino la arena triturada de roca caliza, como polvos reactivos el Microsílice, filler calcáreo y polvo de cuarzo, como aditivo se emplea un superplastificante de alto rango ViscoCrete 2100 y finalmente el uso de agua potable entre rangos de temperatura de (10°C – 25°C).

En esta alternativa la resistencia a la compresión evaluada es menor a la del diseño #2 pero mayor a los siguientes diseños, el costo de fabricación de este hormigón es menor que el diseño #2, ya que se emplea arena de triturada de roca caliza la cual se encuentra localmente en la ciudad de Guayaquil, abaratando los costos en su transportación.

7.2 Calificación de alternativas según el nivel de importancia

El valor numérico empleado en la siguiente tabla varía entre 1 – 10 dependiendo del grado de importancia, siendo 10 un valor positivo y mientras que 1 un valor negativo, en donde mediante los criterios establecidos se califica a cada diseño.

Tabla XXVIII Análisis de Alternativas

CRITERIOS	MEZCLA		
	1	2	3
Fluidez	0,9	1	1
Estabilidad	1	0,8	0,8
Trabajabilidad	1	0,9	1
Resistencia a la compresión	3	3	2,7
Disponibilidad de materia prima	0,9	1	1
Impacto Ambiental	1	1	1
Costo - Beneficio	1,2	1,2	1,05
Total	0,9	1	1

Fuente: Autores

7.3 Restricciones en la Producción de Hormigones

7.3.1 Disponibilidad de Arena de Cuarzo/Silícica

Comúnmente en el Ecuador las canteras en donde se explota industrialmente este tipo de arena, están ubicadas en la región amazónica, región sierra y en la provincia del Oro. Siendo estos los únicos lugares en donde se puede obtener grandes cantidades de este material pétreo.

La principal restricción en su empleo para la fabricación de las mezclas de hormigón, es la ubicación de las canteras con respecto a la ciudad de Guayaquil, las cuales se encuentran a distancias relativamente considerables y de esta forma afecta directamente al costo por tonelada del material.

Esta arena es de vital importancia en el presente proyecto ya que aparte de ser empleada como agregado fino para la Dosificación #1, es también utilizada para la producción del polvo de cuarzo, el cual es uno de los componentes de gran utilidad en las dosificaciones propuestas.

7.3.2 Trabajo de pulverización para la Obtención de Polvos

Reactivos

En esta sección es necesario la pulverización de la arena triturada de roca caliza y de la arena de cuarzo, para la obtención de los polvos reactivos los cuales son el filler calcáreo y el polvo de cuarzo. En donde los mismos forman parte permanente de las dosificaciones preestablecidas, brindando al hormigón fresco de una mayor estabilidad volumétrica sin segregación y dándole un mejor empacamiento entre partículas al hormigón en estado endurecido.

Una de las restricciones al momento de emplear este tipo de polvos dentro de la mezcla, es que el proceso de molienda de los materiales requiere de maquinarias costosas, como lo es el molino de bolas, el cual requiere de una fuente de energía de alta tensión. Además, es necesario de la presencia de personal capacitado para el correcto funcionamiento del equipo mecánico.

Una vez ya pulverizadas las arenas, se procede al almacenamiento de las mismas en silos para su posterior uso en las mezclas del hormigón, involucrando así un costo adicional al de molienda.

7.3.3 Contaminación de Ríos donde se Encuentra la Arena

Como en toda actividad de explotación de materiales se genera contaminación por el empleo de maquinarias, la extracción de arena de los ríos es una más de ellas ya que es necesario el empleo dragas mecánicas las cuales generan dióxido de carbono, dañan el lecho de los ríos y los contaminan afectando así a la flora y fauna de la zona.

Por lo tanto, una de las restricciones en esta sección es la contaminación que se genera en los sectores donde se extrae la arena y así mismo al momento de la transportación de la arena es

necesario el consumo de combustibles fósiles, aceites, llantas y deterioro de las volquetas dedicadas a esta actividad.

7.3.4 Falta de Información de los UHPC a Nivel Nacional y su

Aplicación

La falta de información acerca de los Hormigones de Ultra Alto Desempeño dentro del país, ha sido uno de los mayores factores para el poco interés en el mismo por parte de las constructoras y su aplicación casi nula en las obras civiles.

La falta de una Norma Ecuatoriana que rijan el procedimiento para la elaboración de hormigones que emplean polvos reactivos, ha sido una de las mayores restricciones en nuestro medio, generando así poco interés en la producción de los mismos.

Recalcando que empleo de estos hormigones llevará al sector de la construcción a un más alto nivel, generando un menor tiempo en la ejecución de obras civiles, una disminución notable en las secciones de los elementos estructurales y como consecuencia obtener estructuras menos pesadas que generen un ahorro de los recursos naturales.

7.3.5 Fragilidad que pueden alcanzar los Hormigones

Se conoce como ductilidad a la capacidad que tiene un material para deformarse permanentemente, antes de alcanzar su rotura, y se expresa por medio del alargamiento o por la reducción de sección, generalmente no en valores absolutos sino relativos. En este caso los valores de la longitud o de la sección iniciales tomadas son muy importantes. En ingeniería es muy importante conocer la ductilidad dado que ésta demuestra hasta qué punto puede deformarse un material sin alcanzar la rotura.

El consumo de energía necesario para llevar a la rotura al material viene dado, por tanto, por el valor de la fuerza realizada para alcanzar la rotura, que se desplaza a lo largo de la deformación que se tiene al llegar a la misma, durante el tiempo necesario.

El comportamiento frágil de estos hormigones puede ser un grave inconveniente especialmente en zonas de elevado riesgo sísmico, de aquí el que estos hormigones encuentren mucha desconfianza en su utilización en pilares de edificios altos situados en zonas sometidas a sismos.

7.3.6 Elevadas Temperatura afectan de manera directa al Hormigón

Debido a la microestructura más densa de los hormigones de UHPC el efecto spalling o desconchamiento explosivo puede ser mayor en el deterioro de la estructura, por lo que sus propiedades mecánicas se ven afectada debido a tres factores: cambios fisicoquímicos en la mezcla del cemento, agregado e incompatibilidad térmica entre agregados, y pueden ser influenciados por factores tales como nivel de temperatura, rango de calentamiento, carga aplicada y sellamiento externo (Castillo, 2008).

Estos problemas pueden ser superados por el uso de fibras de polipropileno. Un efecto de las fibras es que crean poros capilares debido a la fusión y la quema, por lo que se forman alrededor de las zonas de transición de fibras a la matriz de cemento. Con esto, las zonas de transición existentes entre los agregados y la matriz están interconectadas de manera que la permeabilidad aumenta y la presión del vapor se reduce. Otro problema que se presenta es debido a anomalía de los compuestos cuarcíferos con respecto a la expansión volumétrica que se produce a 573 °C debido al cambio de las fases cristalinas (Schmidt & Fehling, 2004) para lograr buenos resultados se puede sustituir el cuarzo con basalto.

CAPÍTULO 8

ANÁLISIS DE COSTOS

8.1 Costo Referencial De Materiales

En esta sección se describe el costo referencial de cada material, más el transporte y se incluye el I.V.A. a una tasa de 14%.

8.1.1 Material Cementante

8.1.1.1 Cemento Portland Tipo I:

Tabla XXIX Costo referencial de cemento Portlando tipo 1

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
Cemento Portland Tipo I	CON IVA			CON IVA				\$/Kg
	\$/Saco	1 Saco (Kg)	\$/Kg	\$/ (m ³ *Km)	Km	\$/m ³	\$/Kg	0.47520
	11.80	25.00	0.47200	0.16	30	4.8	0.0032	

Fuente: Autores

8.1.1.2 Cemento Portland Tipo HE:

Tabla XXX Costo referencial del Cemento Portland HE

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
Cemento Portland Tipo HE	CON IVA			CON IVA				\$/Kg
	\$/Ton.	D(Kg/m ³)	\$/Kg	\$/ (m ³ *Km)	Km	\$/m ⁵	\$/Kg	0.13619
	133.49		0.13349	0.16	30	4.8	0.0027	

Fuente: Autores

8.1.1.3 Cemento Portland Tipo GU

Tabla XXXI Costo referencial del cemento Portland Tipo GU

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
Cemento Portland Tipo GU	CON IVA			CON IVA				\$/Kg
	\$/Ton.	D(Kg/m3)	\$/Kg	\$/ (m3*Km)	Km	\$/m6	\$/Kg	0.12691
	123.71		0.12371	0.16	30	4.8	0.0032	

Fuente: Autores

8.1.2 Agregado Fino

8.1.2.1 Arena Silícica

Tabla XXXII Costo referencial de la arena silícica

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
Arena Silícica	CON IVA			CON IVA				\$/Kg
	\$/m3	D(Kg/m3)	\$/Kg	\$/ (m3*Km)	Km	\$/m3	\$/Kg	0.14550
	228.00	1600.00	0.14250	0.16	30	4.8	0.003	

Fuente: Autores

8.1.2.2 Arena de Río Lavada

Tabla XXXIII Costo referencial de la arena de rio lavada

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
Arena de Río Lavada	CON IVA			CON IVA				\$/Kg
	\$/m3	D(Kg/m3)	\$/Kg	\$/ (m3*Km)	Km	\$/m3	\$/Kg	0.00925
	10.00	1600.00	0.00625	0.16	30	4.8	0.003	

Fuente: Autores

8.1.2.3 Arena Triturada de Roca Caliza

Tabla XXXIV Costo referencial de la arena de roca caliza triturada

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
	CON IVA			CON IVA				
Roca Caliza triturada	\$/m3	D(Kg/m3)	\$/Kg	\$/m3	Km	\$/m3	\$/Kg	0.01079
	6.66	7.59	0.00759	0.16	30	4.8	0.0032	

Fuente: Autores

8.1.3 Polvos Reactivos

8.1.3.1 Microsílice

Tabla XXXV Costo referencial de la microsíllice

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
	CON IVA			CON IVA				
Microsílice	\$/m3	D(Kg/m3)	\$/Kg	\$/m3	Km	\$/m3	\$/Kg	3.03653
	45.50	15.00	3.03333	0.16	30	4.8	0.0032	

Fuente: Autores, Sika Ecuatoriana S.A

8.1.3.2 Filler Calcáreo

Tabla XXXVI Costo referencial del Filler Calcáreo

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
	CON IVA			CON IVA				
Filler Calcáreo	\$/m3	D(Kg/m3)	\$/Kg	\$/m3	Km	\$/m3	\$/Kg	0.01520
	12.00	1780.00	0.01200	0.16	30	4.8	0.0032	

Fuente: Autores

8.1.3.3 Polvo de Cuarzo

Tabla XXXVII Costo referencial del polvo de cuarzo

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
Polvo de cuarzo	CON IVA			CON IVA				\$/Kg
	\$/m3	D(Kg/m3)	\$/Kg	\$/m3*Km)	Km	\$/m3	\$/Kg	0.08904
	228.00	2650.00	0.08604	0.16	30	4.8	0.003	

Fuente: Autores

8.1.4 Aditivo

8.1.4.1 Superplastificante ViscoCrete 2100

Tabla XXXVIII Costo referencial del ViscoCrete

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
ViscoCrete 2100	CON IVA			CON IVA				\$/Kg
	\$/m3	D(Kg/m3)	\$/Kg	\$/m3*Km)	Km	\$/m3	\$/Kg	5.80786
	6500.00	1120.00	5.80357	0.16	30	4.8	0.0043	

Fuente: Autores

8.1.5 Agua Potable

8.1.5.1 Agua

Tabla XXXIX Costo referencial del agua potable

MATERIAL	COSTO MATERIAL			COSTO TRANSPORTE				COSTO TOTAL
Agua Potable	CON IVA			CON IVA				\$/Kg
	\$/m3	D(Kg/m3)	\$/Kg	\$/m3*Km)	Km	\$/m3	\$/Kg	0.00055
	0.55	1000.00	0.00055	0	0	0	0	

8.2 Costo Referencial por Diseño

En esta sección se realiza el análisis de costos de los diseños propuestos por cada metro cúbico de hormigón:

Tabla XL Costo referencial de la mezcla No.1

Mezcla No.1				
DESCRIPCIÓN:	Hormigón Fluido, Estable y de Alta Resistencia			
f'c:	115 MPa @ 28 días			
UNIDAD:	m3			
MATERIALES:				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
		A	B	C=A*B
Cemento Portland Tipo I	Kg	690.18	0.48	\$327.97
Arena de Cuarzo	Kg	600.96	0.15	\$ 87.44
MicroSílice	Kg	69.02	3.04	\$209.58
Filler Calcáreo	Kg	103.53	0.02	\$ 1.57
Polvo de Cuarzo	Kg	483.12	0.09	\$ 43.02
ViscoCrete 2100 (1.5%)	Kg	15.18	5.81	\$ 88.16
Agua (35%)	Kg	265.72	0.00055	\$ 0.15
		2227.71		\$757.89

Fuente: Autores

Tabla XLI Costo referencial de la mezcla No. 2

DISEÑO #2				
DESCRIPCIÓN:	Hormigón Fluido, Estable y de Alta Resistencia			
f'c:	108 MPa @ 28 días			
UNIDAD:	m3			
MATERIALES:				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
		A	B	C=A*B
Cemento Portland Tipo I	Kg	667.92	0.48	\$317.40
Arena de Río Lavada	Kg	581.58	0.01	\$ 5.38
Microsílice	Kg	66.79	3.04	\$202.81
Filler Calcáreo	Kg	100.19	0.02	\$ 1.52
Polvo de Cuarzo	Kg	467.54	0.09	\$ 41.63
ViscoCrete 2100 (2%)	Kg	11.02	5.81	\$ 64.00
Agua (38%)	Kg	279.19	0.00055	\$ 0.15
		2174.23		\$632.89

Fuente: Autores

Tabla XLII Costo referencial de la mezcla No. 3

DISEÑO #3				
DESCRIPCIÓN:	Hormigón Fluido, Estable y de Alta Resistencia			
f'c:	95 MPa @ 28 días			
UNIDAD:	m3			
MATERIALES:				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
		A	B	C=A*B
Cemento Portland Tipo I	Kg	654.91	0.48	\$311.21
Arena de Roca Caliza	Kg	570.25	0.01	\$ 6.15
Microsílice	Kg	65.49	3.04	\$198.86
Filler Calcáreo	Kg	98.24	0.02	\$ 1.49
Polvo de Cuarzo	Kg	458.44	0.09	\$ 40.82
ViscoCrete 2100 (2%)	Kg	10.81	5.81	\$ 62.78
Agua (38%)	Kg	273.75	0.00055	\$ 0.15
		2131.89		\$621.48

Fuente: Autores

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

Las conclusiones que se detallan a continuación se encuentran demostradas en el desarrollo del presente proyecto de materia integradora, las mismas brindan una pauta para futuras investigaciones en el campo de hormigones de alto desempeño y su aplicación a diferentes proyectos a nivel nacional e internacional.

- [1] Al omitir el agregado grueso y añadir materiales cementante en los componentes principales del HAEUAR (Hormigón Autocompactable Estable y de Ultra Alta Resistencia) como: cuarzo molido, Humo de Sílice, filler calcáreo existió una mejor distribución de los espacios en el hormigón diseñado, por lo brindaron los mejores resultados para compresión (115 MPa), tracción indirecta (8 MPa), flexión (15 MPa) y modulo elástico (38 GPa).
- [2] En el presente proyecto fue necesario aplicar el método de diseño estadístico de experimentos que se basa en una serie de pruebas las cuales se planteó como variables de entradas que forman parte del proceso, con el fin de conocer la causante de las variables de salida para obtener como resultado el diseño más óptimo para el HFEAR.

- [3] La baja relación agua/material conglomerante de 0.34 brinda como resultado un equilibrio de desempeño de un hormigón fluido sin riesgo a segregarse y de alta resistencia mayor a 100 MPa.
- [4] Los diseños en los que se utilizó cemento HE no desarrollaron resistencias altas, como era de esperarse debido a su adición de puzolana, así también para brindarle una mayor trabajabilidad es necesario una mayor cantidad de agua para hidratarse.
- [5] Los hormigones fluidos y de alta resistencia al contar con aditivos superplastificantes pueden presentar una mayor cantidad de vacíos de aire atrapado y mayor factor de espaciamiento con respecto a un hormigón convencional, aunque su adición de material cementante suplementario y minerales presenta mayores ventajas sujetos a ambientes agresivos.
- [6] La eliminación del agregado grueso, en conjunto con la adecuada proporción del agregado fino, permite realizar hormigones más densos y homogéneos con propiedades mecánicas elevadas.

[7] En los hormigones UHPC es necesario contar con microfibras sean metálicas o minerales para proveer un aumento en la ductilidad del material, con el fin de disminuir su característica de rotura frágil.

[8] La técnica de velocidad de pulso permite detectar el desarrollo de las de las resistencias a edades tempranas de un elemento para poder decidir el retiro del encofrado, así también determinar grietas en presas y el deterioro debido a agentes químicos o al congelamiento, debido a que la propagación de pulso se difracte en la grieta por lo tanto aumenta el tiempo de su recorrido y disminuye la velocidad aparente.

9.2 Recomendaciones

Las recomendaciones que se detallan en el presente trabajo son las siguientes:

[1] De acuerdo a la dosificación de los UHPC al contar con una baja relación a/m.c y la incorporación del microsílíce en el diseño, es necesario de un adecuado superplastificantes de alto rango y reductor de agua que sea compatible con el cemento Portland.

[2] Debido a que los superplastificantes poseen moléculas grandes y pesadas que se envuelven a si misma alrededor de las partículas del

cemento, por su reacción del CaCO_3 con C3A, de acuerdo a la velocidad de liberación de iones del sulfato, esto quiere decir:

- Si la liberación de los iones del sulfato con el superplastificantes es extremadamente lenta entonces es incompatible. Caso contrario no es demasiado rápido entonces son compatibles, brindando como resultado la dispersión de las partículas de cemento y una mejor trabajabilidad en la mezcla.

[3] Para conseguir una mayor fluidez y garantizar una correcta estabilidad frente a los problemas de segregación y exudación siendo uno de los aspectos más importantes en la investigación es necesario incorporar una gran de partículas ultra finas en el diseño de HAEUAR, para el desarrollo de elementos estructurales con el fin para disminuir secciones y muchas veces fuertemente armadas. (Li Misson, Ahlborn, & Peuse, 2008).

[4] Para los hormigones de Ultra Alta Resistencia es necesario incorporar fibras largas y cortas, pueden ser de acero de altos límites elásticos $f_y=2500$ MPa, vidrios, poliestireno o de carbón combinada en la mezcla en conjunto con el cemento, debido a que resultan una mayor ductilidad

incrementando su resistencia a la tracción, también obtener una mejoría en las propiedades mecánicas y ductilidad.

[5] Aunque en Ecuador no hay una amplia gama de cementos, lo cual es un inconveniente para los grandes proyectos que requieren hormigones de altas prestaciones, se recomienda que las cementeras nacionales produzcas este tipo de cementos que brindan mejores resultados en resistencia y durabilidad, disminuyendo de esta forma el consumo excesivo de cemento y protegiendo nuestro medio ambiente.

9.3 Propuestas de investigación

Dentro del proyecto se propone unas nuevas líneas de investigación centradas en los epígrafes siguientes:

- [1] Realizar un control probabilístico con las propuestas de diseño del presente del proyecto, con la adición de fibras naturales o metálicas
- [2] Realizar ensayos a tamaño escala o real de elementos estructurales con el objetivo de analizar su comportamiento real.
- [3] Realizar un estudio del comportamiento del cemento a una relación a/m.c alto, cuyo objetivo es determinar cuál es el rango necesario de

proporcionamiento con los materiales existentes en el país para los UHPC.

[4] Estudiar con mayor profundidad el deterioro de varios tipos de fibras en diferentes tipos de ambientes con los hormigones de alto desempeño.

ANEXOS

ANEXO A
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA, ABSORCIÓN Y HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

1. Densidad del volumen a 23°C del árido fino seco en estado saturado superficialmente seco (Kg/m³).
2. Densidad aparente del árido fino a 23°C (Kg/m³).
3. Porcentaje de absorción de agua del árido fino (%).

En donde:

Para la elaboración de estos ensayos, fue necesario tomar como referencia a la norma NTE INEN 856:2010 que se refiere a ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO y la Norma ASTM C-128

Muestra No. 1:

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO LAVADO DE RÍO		
Porcentaje de Humedad	9.81	%
Gravedad Específica	2.18	SU
Porcentaje de Absorción	2.91	%

Muestra No. 2:

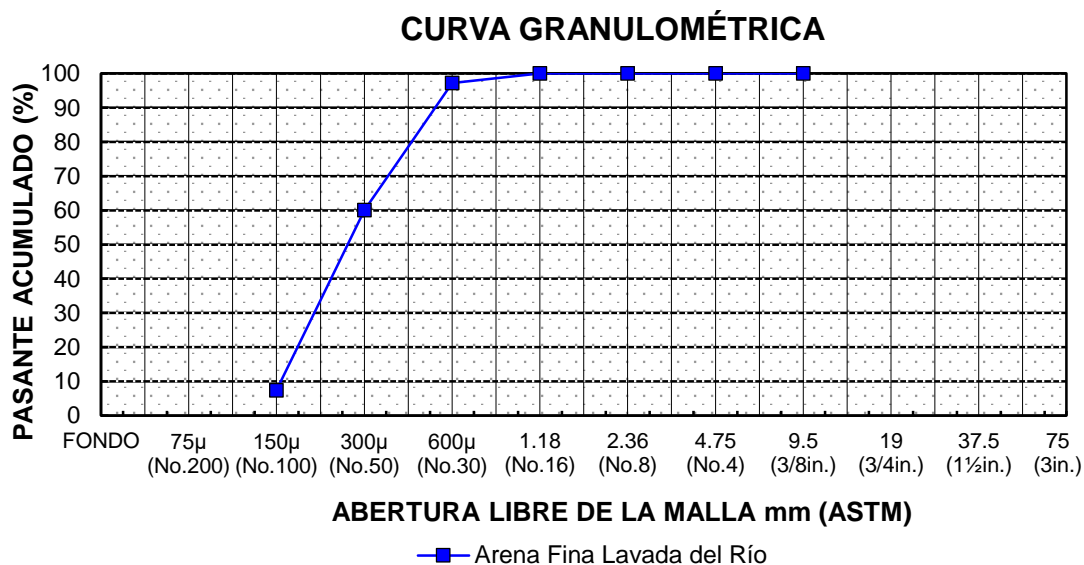
CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO TRITURADO DE CÁLIZA		
Porcentaje de Humedad	2.20	%
Gravedad Específica	2.51	SU
Porcentaje de Absorción	2.40	%

Muestra No. 3:

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO DE CUARZO		
Porcentaje de Humedad	0.15	%
Gravedad Específica	2.47	SU
Porcentaje de Absorción	0.87	%

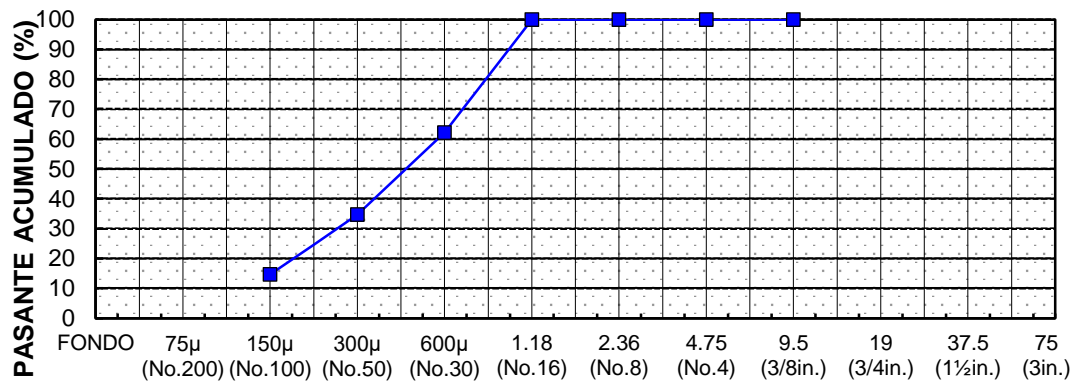
ANEXO B
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO INEN 696 - ASTM C 33					
Muestra N°:		Muestra N°1		Periodo:	2016 - 2017
Tipo de agregado:		Arena Fina Lavada del Río		Solicitado por:	ESPOL
Proyecto		Materia Integradora		Laboratorista:	FICT
Muestreo:		14/11/2016		Ensayo:	23/11/2016
TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASANTE ACUMULADO %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.00	0	0	100
4,75 mm	No. 4	0.00	0	0	100
2,36 mm	No. 8	0.00	0	0	100
1,18 mm	No. 16	0.00	0	0	100
600 µm	No. 30	14.02	3	3	97
300 µm	No. 50	184.75	37	40	60
150 µm	No. 100	262.50	53	93	7
Fondo		36.83	7	100	0
MÓDULO DE FINURA:				1.4	



GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO INEN 696 - ASTM C 33					
Muestra N°:		Muestra N°2	Periodo:		2016 - 2017
Tipo de agregado:		Arena de roca caliza	Solicitado por:		ESPOL
Proyecto		Materia Integradora	Laboratorista:		FICT
Muestreo:		14/11/2016	Ensayo:		23/11/2016
TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASANTE ACUMULADO %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.00	0	0	100
4,75 mm	No. 4	0	0	0	100
2,36 mm	No. 8	0	0	0	100
1,18 mm	No. 16	0	0	0	100
600 µm	No. 30	83.19	38	38	62
300 µm	No. 50	60.37	27	65	35
150 µm	No. 100	43.97	20	85	15
Fondo		32.14	15	100	0
MÓDULO DE FINURA:				3.4	

CURVA GRANULOMÉTRICA

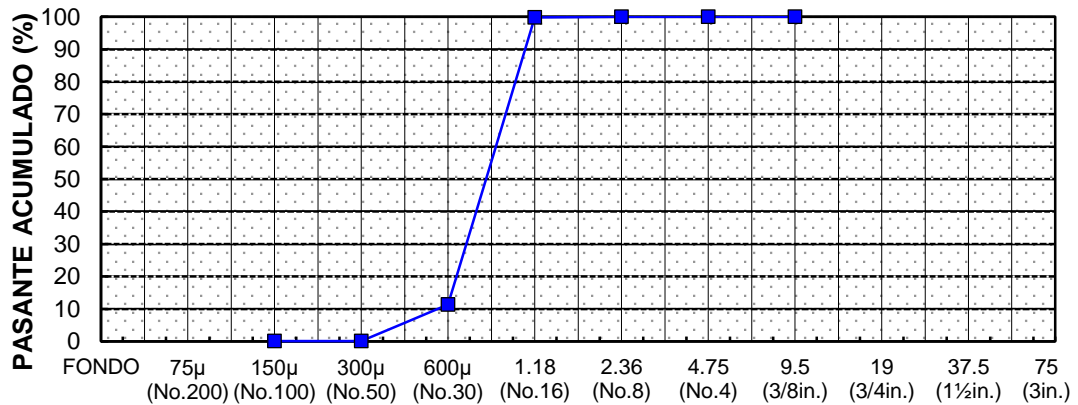


ABERTURA LIBRE DE LA MALLA mm (ASTM)

—■— Arena Triturada de Roca Caliza

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO INEN 696 - ASTM C 33					
Muestra N°:		Muestra N°3	Periodo:	2016 - 2017	
Tipo de agregado:		Arena Silícica	Solicitado por:	ESPOL	
Proyecto		Materia Integradora	Laboradorista:	FICT	
Muestreo:			Ensayo:	23/01/2017	
TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	PASANTE ACUMULADO %
INEN	ASTM				
9,50 mm	3/8 in.	0.00	0	0	100
4,75 mm	No. 4	0.00	0	0	100
2,36 mm	No. 8	0.00	0	0	100
1,18 mm	No. 16	0.89	0	0	100
600 µm	No. 30	442.43	88	89	11
300 µm	No. 50	56.02	11	100	0
150 µm	No. 100	0.30	0	100	0
Fondo		0.37	0	100	0
MÓDULO DE FINURA:				2.9	

CURVA GRANULOMÉTRICA



ABERTURA LIBRE DE LA MALLA mm (ASTM)

—■— Arena Fina de Cuarzo Blanca

ANEXO C
RESUMEN DE DOSIFICACIONES

MATERIALES		Dosificaciones (Kg/m ³)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiempo de elaboración de muestra		20 min	15 min	25 min	35 min	29 min	30 min	30 min	36 min	30 min	10 min
Cemento	Cemento Portland Blanco Tipo I	383.00	656.00	656.00	656.00		612.00	552.50	712.00	552.50	656.00
	Cemento Portland Tipo HE					656.00					
	Cemento Portland Tipo GU										
Arena	Arena de Cuarzo / Silícica		376.00	535.60	571.20	571.20	816.00	1200.00	524.99	1050.00	850.00
	Arena de Roca Caliza	220.00									
	Arena de Río Lavada	327.00	559.00								
Polvos Reactivos	Microsílice	123.00	211.00	211.00	211.00	211.00	198.00	97.50	284.80	152.00	132.50
	Filler Calcáreo	38.00		134.00	98.40	98.40	108.00	81.25	142.40	70.00	
	Polvo de Cuarzo	75.00	193.00	458.00	458.00	458.00	240.00	138.25	498.40	200.00	300.00
	Cal Hidratada						108.00	97.50	71.20	97.50	97.50
Aditivos	ViscoCrete 2100	16.50	28.00	28.00			30.00	25.00	19.94	28.00	30.00
	ViscoCrete 4100										
	Sikament N100				28.00	28.00			10.68		
Agua	Agua	186.33	202.00	202.00	202.00	202.00	245.00	208.00	320.40	250.00	299.00
	Adición de agua		150.00		38.00	50.00					

ANEXO D
RESUMEN DE RESISTENCIAS

MEZCLA	No. De MUESTRA	Cubo N°	Fecha de muestreo	Hora de Toma	Temperatura (°C)			Tiempo de amasado (min)	EDAD	Fecha de Ensayos		Dimensiones (mm)			Volumen m3	Promedio m3	Masa gr.	Área mm2	Densidad kg/m3	Carga kN	Esfuerzo Kg/cm2	Esfuerzo Mpa	Esfuerzo Mpa (%)	Promedio Mpa
					Ambiente	Agua	Batch			Muestra	Compresión	Lado 1	Lado 2	Lado 3										
1-A	1	1	24/11/2016	10:23	28	10	28	18.5	5	24/11/2016	29/11/2016	52.2	50.6	47.5	0.000125	0.036621	269.37	2641.32	2147.01	118.20	456.33	44.75	4.39	44.75
		14							24/11/2016	8/12/2016	50.9	50.0	50.9	0.000130	275.00		2545.00	2122.89	174.70	699.98	68.64	6.73	68.64	
		28							24/11/2016	22/12/2016	50.4	50.9	51.0	0.109608	289.39		2565.36	2211.90	228.30	907.48	88.99	8.73	88.99	
2-B	2	4	2/12/2016	11:30	26	12	27	19	3	2/12/2016	5/12/2016	50.7	50.6	50.8	0.0001303	0.000133	279.22	2565.42	2142.52	110.60	439.62	43.11	32.52%	50.12
		5							2/12/2016	5/12/2016	51.0	51.0	50.8	0.0001321	287.10		2601.00	2172.85	148.60	582.59	57.13			
		6							2/12/2016	9/12/2016	51.5	50.7	51.0	0.0001332	277.95		2611.05	2087.28	183.30	715.86	70.20	18.00%	76.52	
		7							2/12/2016	9/12/2016	51.4	50.4	50.2	0.0001300	283.88		2590.56	2182.92	214.60	844.73	82.84			
		8							2/12/2016	30/12/2016	51.5	51.0	51.0	0.0001340	275.50		2626.50	2056.71	270.30	1049.42	102.91	9.57%	107.84	
9	2/12/2016	30/12/2016	52.0	52.0	52.0	0.0001406	284.50	2704.00	2023.36	304.90	1149.82	112.76												
3-A	3	10	7/12/2016	13:35	27	12	28	20	7	7/12/2016	14/12/2016	50.6	51.0	50.7	0.0001308	0.000132	262.20	2580.60	2004.03	195.80	773.70	75.87	3.88%	77.35
		11							7/12/2016	14/12/2016	50.7	51.6	50.6	0.0001324	264.03		2616.12	1994.55	206.20	803.73	78.82			
		12							7/12/2016	22/12/2016	50.7	50.9	50.8	0.0001311	262.65		2580.63	2003.49	222.70	879.99	86.30	14.02%	80.25	
		13							7/12/2016	22/12/2016	51.0	51.4	51.8	0.0001358	260.70		2621.40	1919.90	194.50	756.60	74.20			
		14							7/12/2016	4/1/2017	50.9	51.3	51.8	0.0001353	261.81		2611.17	1935.63	216.00	843.53	82.72	5.31%	84.92	
15	7/12/2016	4/1/2017	50.7	50.4	50.7	0.0001296	258.85	2555.28	1998.03	222.60	888.32	87.11												
3-B	4	16	7/12/2016	15:35	26	10	29	18	7	7/12/2016	14/12/2016	51.5	50.7	51.0	0.0001332	0.000131	261.30	2611.05	1962.25	152.00	593.62	58.21	5.04%	56.75
		17							7/12/2016	14/12/2016	51.4	50.4	50.2	0.0001300	256.31		2590.56	1970.92	143.20	563.68	55.28			
		18							7/12/2016	22/12/2016	50.8	50.4	51.0	0.0001306	251.03		2560.32	1922.48	145.30	578.70	56.75	10.56%	59.75	
		19							7/12/2016	22/12/2016	51.0	50.0	51.0	0.0001301	255.81		2550.00	1967.01	160.00	639.82	62.75			
		20							7/12/2016	4/1/2017	51.0	50.6	50.8	0.0001311	252.76		2580.60	1928.08	150.70	595.49	58.40	5.87%	60.11	
21	7/12/2016	4/1/2017	51.0	51.0	51.0	0.0001327	252.37	2601.00	1902.51	160.80	630.42	61.82												
4-A	5	21	9/12/2016	14:50	25	10	27	17	3	9/12/2016	12/12/2016	50.9	50.0	51.0	0.0001298	0.0001298	249.86	2545.00	1925.04	94.00	376.64	36.94	0.12%	36.96
		22							9/12/2016	12/12/2016	51.0	50.0	51.0	0.0001301	250.51		2550.00	1926.26	94.30	377.10	36.98			
		23							9/12/2016	16/12/2016	50.8	50.8	50.9	0.0001314	250.39		2580.64	1906.21	113.00	446.51	43.79	4.45%	44.76	
		24							9/12/2016	16/12/2016	50.7	50.5	50.7	0.0001298	252.97		2560.35	1948.78	117.10	466.38	45.74			
		25							9/12/2016	6/1/2017	50.7	50.2	50.7	0.0001290	259.80		2545.14	2013.35	187.60	751.63	73.71	15.18%	68.11	
26	9/12/2016	6/1/2017	50.8	50.0	50.8	0.0001290	250.20	2540.00	1939.05	158.80	637.53	62.52												

MEZCLA	No. De MUESTRA	Cubo N°	Fecha de muestreo	Hora de Toma	Temperatura (°C)			Tiempo de amasado (min)	EDAD	Fecha de Ensayos		Dimensiones (mm)			Volumen	Promedio	Masa	Área	Densidad	Carga	Esfuerzo	Esfuerzo	Esfuerzo	Promedio
					Ambiente	Agua	Batch			Muestro	Compresión	Lado 1	Lado 2	Lado 3	m3	m3	gr.	mm2	kg/m3	kN	Kg/cm2	Mpa	Mpa (%)	Mpa
5-A	6	27	9/12/2016	15:57	28	13	26	20	3	9/12/2016	12/12/2016	51.0	50.9	51.0	0.0001324	0.0001317	256.46	2595.90	1937.14	95.80	376.32	36.90	2.52%	37.37
		50.8										50.0	50.6	0.0001285	251.50		2540.00	1956.83	96.10	385.81	37.83			
		7								9/12/2016	16/12/2016	50.5	50.9	51.0	0.0001311		260.29	2570.45	1985.54	144.90	574.83	56.37	3.25%	57.29
												51.0	50.8	51.0	0.0001321		261.63	2590.80	1980.08	150.80	593.54	58.21		
		28								9/12/2016	6/1/2017	51.3	51.3	51.0	0.0001342		258.80	2631.69	1928.23	110.50	428.16	41.99	26.37%	47.53
												51.1	50.6	51.0	0.0001319		257.20	2585.66	1950.43	137.20	541.08	53.06		
6-A	7	33	12/12/2016	10:25	27	12	27	35	4	12/12/2016	16/12/2016	51.0	50.7	50.9	0.0001316	0.0001309	261.60	2585.70	1987.66	113.90	449.19	44.05	3.42%	44.80
		50.7										50.7	51.0	0.0001311	260.62		2570.49	1988.02	117.10	464.54	45.56			
		7							12/12/2016	19/12/2016	50.8	50.8	51.0	0.0001316	269.30		2580.64	2046.16	122.50	484.05	47.47	38.13%	56.52	
											50.0	51.0	51.0	0.0001301	269.90		2550.00	2075.36	167.20	668.62	65.57			
		28							12/12/2016	9/1/2017	50.0	50.9	50.8	0.0001293	258.98		2545.00	2003.16	200.20	802.15	78.66	6.56%	81.24	
											51.0	50.9	50.7	0.0001316	272.34		2595.90	2069.26	217.60	854.78	83.82			
7-A	8	39	12/12/2016	11:45	25	15	27	20	3	12/12/2016	15/12/2016	51.0	50.6	51.0	0.0001316	0.0001323	254.00	2580.60	1929.94	96.70	382.11	37.47	0.91%	37.64
		51.0										50.4	51.0	0.0001311	253.12		2570.40	1930.88	97.19	385.57	37.81			
		7							12/12/2016	19/12/2016	51.0	49.9	51.0	0.0001298	248.30		2544.90	1913.09	110.80	443.97	43.54	2.75%	44.14	
											51.9	51.6	51.6	0.0001382	266.20		2678.04	1926.38	119.80	456.16	44.73			
		28							12/12/2016	9/1/2017	51.5	50.0	51.2	0.0001318	258.28		2575.00	1959.04	149.80	593.22	58.17	9.36%	55.45	
											51.0	50.2	51.3	0.0001313	255.01		2560.20	1941.63	135.00	537.70	52.73			
11-A	9	45	16/12/2016	12:00	26	13	28	20	3	16/12/2016	19/12/2016	50.9	50.3	50.8	0.0001301	0.0001295	264.10	2560.27	2030.57	129.90	517.37	50.74	15.16%	54.58
		50.7										50.4	50.8	0.0001298	265.40		2555.28	2044.55	149.30	595.80	58.43			
		7							16/12/2016	23/12/2016	50.7	50.2	50.7	0.0001290	266.28		2545.14	2063.57	186.40	746.82	73.24	7.34%	70.55	
											50.9	50.0	50.8	0.0001293	264.49		2545.00	2045.77	172.70	691.97	67.86			
		28							16/12/2016	13/1/2017	50.7	50.0	50.8	0.0001288	270.50		2535.00	2100.51	205.70	827.44	81.14	4.89%	83.13	
											50.9	50.3	50.7	0.0001298	266.11		2560.27	2050.06	217.90	867.87	85.11			
12-A	10	51	21/12/2016	12:00	28	11	28	20	7	21/12/2016	28/12/2016	50.7	50.1	50.8	0.0001290	0.0001300	267.39	2540.07	2072.22	181.60	729.04	71.49	8.84%	68.33
		50.7										50.6	51.0	0.0001308	266.64		2565.42	2037.96	167.20	664.60	65.17			
		14							21/12/2016	4/1/2017	50.6	50.9	50.8	0.0001308	272.47		2575.54	2082.51	211.40	836.98	82.08	12.45%	76.97	
											50.8	49.8	51.2	0.0001295	261.71		2529.84	2020.49	181.80	732.79	71.86			
		28							21/12/2016	18/1/2017	50.7	50.5	51.0	0.0001306	265.62		2560.35	2034.19	207.90	828.01	81.20	0.52%	80.99	
											50.7	50.3	50.7	0.0001293	261.70		2550.21	2024.04	206.00	823.71	80.78			

MEZCLA	No. De MUESTRA	Cubo N°	Fecha de muestreo	Hora de Toma	Temperatura (°C)			Tiempo de amasado (min)	EDAD	Fecha de Ensayos		Dimensiones (mm)			Volumen m3	Promedio m3	Masa gr.	Área mm2	Densidad kg/m3	Carga kN	Esfuerzo Kg/cm2	Esfuerzo Mpa	Esfuerzo Mpa (%)	Promedio Mpa
					Ambiente	Agua	Batch			Muestra	Compresión	Lado 1	Lado 2	Lado 3										
27-A	21	93	4/1/2017	11:18	27	10	30	15:45	1	4/1/2017	5/1/2017	51.0	50.4	51.3	0.0001319	0.0000879	284.70	2570.40	2159.08	132.30	524.86	51.47	2.00%	51.99
		3							7/1/2017		51.2	50.0	51.2	0.0001311	284.61		2560.00	2171.40	134.40	535.35	52.50			
		7							4/1/2017	11/1/2017	51.2	50.5	51.3	0.0001326	289.00		2582.54	2179.69	206.70	816.16	80.04	7.09%	77.20	
											50.9	51.0	50.8	0.0001319	280.90		2597.94	2129.27	193.20	758.33	74.37			
		28							4/1/2017	1/2/2017				0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
														0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
28-A	22	99	4/1/2017	12:20	28	7	29	15:00	1	4/1/2017	5/1/2017	50.0	50.7	51.0	0.0001293	0.0000864	275.80	2535.00	2133.27	114.80	461.79	45.29	45.29	45.01
		3							7/1/2017		50.8	51.0	50.0	0.0001295	282.20		2590.80	2178.48	115.90	456.17	44.74	44.74		
		7							4/1/2017	11/1/2017	50.8	50.1	51.1	0.0001300	279.00		2545.07	2146.96	182.20	730.01	71.59	1.44%	71.07	
											50.7	50.0	51.0	0.0001294	277.20		2537.00	2142.41	179.00	719.47	70.56			
		28							4/1/2017	1/2/2017				0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
														0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
29-B	23	107	5/1/2017	12:35	28	10	29	11:28	1	5/1/2017	6/1/2017	50.9	49.9	50.7	0.0001288	0.0000860	258.80	2539.91	2009.73	132.30	531.16	52.09	9.50%	49.62
		3							8/1/2017		50.4	50.8	50.9	0.0001303	272.50		2560.32	2091.00	120.70	480.72	47.14			
		7							5/1/2017	12/1/2017	50.8	49.4	50.8	0.0001275	263.63		2509.52	2067.95	115.20	468.10	45.91	1.17%	46.17	
											50.2	50.7	50.9	0.0001295	268.46		2545.14	2072.29	118.20	473.57	46.44			
		28							1/1/1900	29/1/1900				0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
														0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
30-B	24	116	5/1/2017	13:15	28	10	29	11:00	1	5/1/2017	6/1/2017	50.9	49.9	50.7	0.0001288	0.0000865	252.00	2539.91	1956.93	57.10	229.24	22.48	67.96%	30.12
		3							8/1/2017		50.9	50.0	51.0	0.0001298	259.50		2545.00	1999.31	96.10	385.05	37.76			
		7							1/1/1900	8/1/1900	51.4	49.6	51.3	0.0001308	256.70		2549.44	1962.74	100.60	402.38	39.46	7.05%	40.85	
											50.9	50.0	51.0	0.0001298	260.25		2545.00	2005.08	107.50	430.73	42.24			
		28							1/1/1900	29/1/1900				0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
														0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
31-B	25	121	5/1/2017	14:09	29	12	28	11:00	1	5/1/2017	6/1/2017	50.8	50.4	51.0	0.0001306	0.0000865	257.00	2560.32	1968.20	55.90	222.64	21.83	73.51%	29.86
		3							8/1/2017		51.0	50.0	50.6	0.0001290	265.00		2550.00	2053.79	96.60	386.29	37.88			
		7							5/1/2017	12/1/2017	50.8	50.0	51.0	0.0001295	268.46		2540.00	2072.41	115.20	462.49	45.35	5.15%	44.19	
											51.0	50.0	51.0	0.0001301	262.36		2550.00	2017.38	109.70	438.68	43.02			
		28							5/1/2017	2/2/2017				0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	
														0.0000000	0.00		#DIV/0!		#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	

ANEXO E
FICHA TÉCNICA DE ADITIVOS, ADICIONES Y
CEMENTOS

Sika ViscoCrete 2100

Descripción del Producto:

- Sika ViscoCrete 2100 es un aditivo reductor de agua de alto rango e hiperplastificante, 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:

- 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:

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.

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 aun 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.

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.

- La acción combinada de reductor de agua de alto rango y superplastificante del Sika ViscoCrete 2100, proporciona al hormigón endurecido los siguientes beneficios:
- 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.

Aspecto: Líquido translúcido.

Densidad: 1.1 g/cc aprox.

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 microsíllica, 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 microsíllica: Sika ViscoCrete 2100 es particularmente recomendable para el uso con microsíllica 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

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.

Ecología

No verter directamente sobre vertientes de agua o el suelo, actuar de acuerdo a las regulaciones locales.

Toxicidad: No peligroso.

Transporte: Mercancía no peligrosa.

SikaFume®

Aditivo en polvo con base a silica-fume (Microsilíce)

Descripción:

SikaFume, es una adición en polvo fino, color gris, con base en microsilíce, 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.

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

Usos:

SikaFume es de gran utilidad cuando se requiere:

- 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.
- 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:

En el hormigón fresco

- 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

- 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:

Contenido de SO₂: mayor al 95%.

Superficie Específica: mayor a 30 m²

Humedad: 3 - 5 % aprox.

La humedad del producto, debido a su altísima superficie especificada, puede aumentar, en caso de un inadecuado almacenamiento o de alta humedad relativa en la zona de trabajo. Las normas especifican la humedad solo 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.

Modo de Empleo:

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 microsíllica en la mezcla, debe incrementarse el tiempo de mezclado. Este es el siguiente esquema de mezcla tanto en planta como en la obra:

- 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:

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 microsíllica 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.

Limitaciones:

Proteger el producto de la humedad. Debido a las bajas relaciones a/c característica de los hormigones con microsíllica es recomendado el uso de superplastificantes. Para obtener superficies con un acabado eficiente es necesario usar curadores. Se recomienda usar Antisol como curador.

Precauciones:

Se debe preveer un excelente curado al momento de utilizar Microsíllice 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 sílice 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.

Presentación: Fundas de 15 kg.

Almacenamiento:

El tiempo de almacenamiento es de 60 meses, protegido de la humedad.

Condiciones de almacenamiento: lugar seco y bajo techo.

Especificaciones Técnicas del Cemento Holcim Premium Tipo HE.

Descripción y Características:

Holcim Premium Tipo HE

Es un cemento hidráulico de alta resistencia fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380, que equivale a la Norma ASTM C1157. Esta directriz permite fabricar cementos con adiciones basados en su desempeño, que minimizan el impacto ambiental y dan como resultado un uso muy eficiente de las materias primas. El cemento Holcim Premium Tipo HE está compuesto de clinker de cemento portland, yeso y adiciones de puzolanas naturales.

Holcim Premium Tipo HE es un cemento de desencofrado rápido y que produce altas resistencias tempranas, similares a las resistencias del cemento portland Tipo III de la Norma ASTM C150. Se lo llama HE por sus siglas en inglés de “high early-strength” (alta resistencia temprana), lo que lo hace ideal para fabricar hormigones con mayores resistencias mecánicas, edificar estructuras en zonas de alto riesgo sísmico, centrales hidroeléctricas, pavimentos y obras de infraestructura en general. Así mismo, cuando se requiera mayores resistencias a edades tempranas, como en las plantas de prefabricados, etc.

El cemento Holcim Premium Tipo HE proporciona mezclas más resistentes a todas las edades que los cementos convencionales de uso general.

Requisitos Químicos:

No se especifica la composición química para el cemento. Sin embargo, el cemento debe ser analizado para propósitos informativos.

Requisitos Físicos:

Requisitos Físicos	INEN 2380	Valor Referencial
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.80	-0.04
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
No menos de, minutos	45.00	150.00
No más de, minutos	420.00	
Contenido de aire del mortero, en volumen, %		3.00
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo		
1 día	12.00	14.00
3 días	24.00	25.00
7 días	-	32.00
28 días	-	40.00
Expansión en barras de mortero 14 días, % máximo	0.020	0.001

Resistencia:

El desarrollo de resistencia del hormigón de cemento hidráulico se debe a varios factores, tales como las características físicas y químicas del cemento, la relación agua/cemento, relación de cemento/agregado, la granulometría, textura superficial, forma, resistencia y rigidez de las partículas del agregado; así como el uso de aditivos, condiciones de curado y el medio ambiente.

La razón de la rápida ganancia de resistencia no debe confundirse con la razón de la rapidez de fraguado; en efecto, cementos de uso general como el Tipo GU y cementos de alta resistencia inicial como el Tipo HE pueden

tener tiempos de fraguado muy similares, aunque sus resistencias iniciales sean diferentes. En el caso del cemento Tipo HE las resistencias serán superiores.

Por su adecuada formulación, el cemento Holcim Premium Tipo HE permite elaborar hormigones en obras que demandan altas resistencias iniciales a la compresión.

Ventajas:

- Altas resistencias iniciales y finales.
- Resistencias superiores a las especificadas en la Norma NTE INEN 2380.
- Mejor trabajabilidad de las mezclas.
- Reduce la segregación y exudación.
- Reduce el calor de hidratación y por consiguiente la tendencia a la fisuración en grandes estructuras.
- Buen desempeño de fraguado y resistencia para la construcción de obras en general.
- Resistencia química moderada al agua del mar, difusión de cloruros y ataque de sulfatos, lo que aumenta la durabilidad.
- Ahorros significativos en el consumo de cemento por metro cúbico de hormigón.
- Rápida puesta en uso de estructuras y vías de concreto.

Usos Recomendados:

El cemento Holcim Premium Tipo HE cumple con lo establecido en la Norma NTE INEN 2380 como cemento Tipo HE de alta resistencia inicial. Por esto, puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de ingeniería, sobre todo cuando se requieran ser puestas en servicio rápidamente. También se aplican en la construcción de estructuras masivas, obras portuarias, pavimentos, puentes, elementos prefabricados, edificaciones de todo tipo, etc.

Algunas de las principales obras de Ecuador donde se ha usado el cemento Holcim Premium Tipo HE son:

Infraestructuras:

- Proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair: obras de captación, dovelas para recubrimiento de los túneles, hormigón lanzado.
- Proyecto hidroeléctrico Toachi Pilatón.
- Túneles San Eduardo en Guayaquil.
- Complejo de Puentes de la Unidad Nacional.
- Aeropuertos de Santa Rosa, Tena y Latacunga.
- Carreteras de hormigón rígido que construye el Cuerpo de Ingenieros del Ejército del Ecuador el Ministerio de Transportes y Obras Públicas.
- Metro de Quito
- Ampliación del Terminal Marítimo en Puerto Bolívar
- Todas las plantas de concreto premezclado de Holcim a nivel nacional

Caminos urbanos:

- Vía de ingreso desde El Cambio a Machala.
- Avenida del Bombero en Guayaquil.
- Vías San Eduardo en Guayaquil.
- Carriles exclusivos de la Metrovía en Guayaquil y del Trole en Quito.
- Terminal Terrestre Sur en Quitumbe.

Especificaciones Técnicas del Cemento CEMEX Portland Tipo I Blanco

Descripción:

El Cemento Blanco cumple ampliamente con las especificaciones de la Norma Técnica Internacional ASTM C 150, como Tipo I.

Es producido bajo un estricto control de calidad que lo convierte en un cemento especialmente diseñado para uso ornamental, también se puede utilizar en la construcción de todo tipo de elementos y estructuras de concreto simple o armado, al presentar las mismas propiedades de desempeño que los cementos grises. Por su brillantez suele aplicarse en acabados artísticos de gran lucimiento.

Recomendaciones de Uso:

- Hormigón de muy alta resistencia.
- Prefabricados de hormigón.
- Hormigón pretensado.
- Hormigón blanco o coloreado.
- Mortero blanco o coloreado.
- Apto para lechadas de cemento.

Ventajas:

Por su óptima proporción de materiales y la aplicación de un control de calidad estricto, este tipo de cemento tiene las propiedades de producir mezclas de excelente trabajabilidad, plasticidad y posesividad, lo que evita

la segregación de la mezcla y ayuda a minimizar el sangrado, por lo que el concreto puede ser manejado y colocado con mayor facilidad, proporcionando elementos más durables.

Por su bajo contenido de álcalis en su composición química es factible utilizar agregados reactivos como vidrio volcánico o rocas que normalmente reaccionan con los álcalis del cemento.

Información Técnica:

Resistencias a Compresión	Rango Típico* (MPa)	Requisitos Norma** ASTM C-150
1 día	(12 - 20)	N.E.
3 días	(20 - 30)	Mínimo 12
7 días	(30 - 40)	Mínimo 19
28 días	(40 - 50)	N.E.
Análisis Físico	Rango Típico* (MPa)	Requisitos Norma** ASTM C-150
Expansión Autoclave (%)	0.10	Máximo 0.80
Tiempo de Fraguado Inicial (min)	(45 - 95)	Mínimo 45
Tiempo de Fraguado Final (min)	(200 - 250)	Máximo 375
Superficie Específica Blaine, cm ² /g	(3600 - 4400)	Máximo 2600
Expansión Barra Montero 14 días (%)	0.010	Máximo 0.020
Análisis Químico	Rango Típico* (MPa)	Requisitos Norma** ASTM C-150
% SO ₃ (Trióxido de Azufre) cuando C ₃ A es > 8%	3.0 - 4.50	Máximo 3.0
% MgO (Óxido de Magnesio)	3.0	Máximo 6.0
% P.F (Pérdida al Fuego)	3.0	Máximo 3.0
% R.I (Residuo Insoluble)	0.75	Máximo 0.75

* Los rangos de valores típicos obedecen a valores promedios y pueden variar con el tiempo.

** N.E: Limite No Especificado por Norma ASTM C – 150, se reporta para información del cliente.

Recomendaciones para el Buen Uso:

- Utilizar la cantidad correcta de arena, cemento y agua de acuerdo a la aplicación.
- Mezclar primero el cemento y la arena en seco hasta obtener un color uniforme (buscando que la mezcla esté totalmente homogénea).
- Usar arena de buena calidad, con buena granulometría, dureza y sin contaminación.
- Humedecer aquellos elementos con alta absorción de agua, por ejemplo: formaletas de madera, losetas de barro, etc.
- Use la mínima cantidad de agua apta para la producción de la mezcla.
- Utilizar agua limpia, libre de grasa o aceites.

Recomendaciones de Almacenamiento y Manipulación

- Manténganse en lugar cubierto, seco y alejado de la humedad. Cubrir con plástico en climas húmedos.
- Mantenerlo debidamente estibado a 10 cm del suelo, alejado de las paredes.
- No apile más de 10 sacos en altura.
- Una vez abierto el saco, procure consumirlo de inmediato.
- Manipule con cuidado para evitar la rotura del saco. Si el saco está roto o dañado, no lo compre.

Precauciones

- En caso de contacto con los ojos, lávese con agua abundante.
- Use guantes de látex, mascarillas y gafas.
- Mantener fuera del alcance de los niños.
- Producto no comestible, ni inhalable, en caso de ingesta, llame o acuda al médico de inmediato.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 116R-78. (1980). *Cement and Concrete Terminology*. Michigan, Detroit, EEUU: American Concrete Insitute.
- ACI 211.4R. (2008). *Guide for selecting Proportions for High-Strength concrete Using Portland Cement and other Cementitious Materials*. Estados Unidos: American Concrete Institute.
- ACI 237R. (2007). *Self-Consolidating Concrete*. Michigan, EEUU: American Concrete Insitute.
- ACI 318. (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Estados Unidos: American Concrete Institute.
- ACI Committee 363. (1997). *State of the Art Report on High Strength Concrete*. Michigan , EEUU: American Concrete Insitute.
- ASTM C 109 . (2007). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. EEUU: American Concrete Institute.
- ASTM C138. (2014). *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete*. EEUU: American Concrete Insitute.
- ASTM C1437. (2007). *Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar*. EEUU: ASTM International .
- ASTM C39. (s.f.). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.
- Blais, P., & Couture, M. (1999). Precast, Prestressed Pedestrian Bridge- World's First Reactive Powder Concrete Structure. *PCI Journal*, 44(5), 60 -71.

Camacho Torregrosa, E. (19 de Diciembre de 2013). *Dosage optimization and bolted connections for UHPFRC ties*. Valencia, España: UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA.

Castillo, J. E. (2008). *Análisis del artículo "Effect of fire on concrete structures"*. Alcalá de Henares, España: Universidad de Alcalá.

Chisholm , D., & Lee, N. (2006). *Reactive Powder Concrete*. Australia: Building Research Levy .

Choudhari, N., Kumar, A., Kumar, Y., & Gupta, R. (2002). *National Seminar of ISNT (Indian Society for Not-Destructing Testing)*.

Cordero Morrobel, H. C. (Febrero de 2015). *Aplicación de hormigón de ultra alta resistencia con fibras de vidrio. Caracterización de hormigón de ultra alta resistencia con fibras de vidrio*. Valencia, España: Universidad Politécnica De Valencia.

Dywidag-Systems International . (2016). Obtenido de DSI supplies Monostrand Post-Tensioning Systems for the World's first Ultra High Performance Concrete Street Bridge: <https://www.dywidag-sistemas.com/proyectos/detalles/article/wild-bridge-austria.htm>

Espinoza Montenegro, A. (20 de Septiembre de 2010). *Estudio de hormigón de Ultra Alta Resistencia, basado en el empaquetamiento de los áridos*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Graybeal , B., & Russell, H. (Junio de 2013). *Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community* . Georgetown, EEUU: Federal Highway Administration .

- Graybeal , Benjamin A.; Russell, Henry G. (Junio de 2013). *Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community*. Georgetown, EEUU: Federal Highway Administration.
- Graybeal, B., & Russell, H. (Junio de 2013). *Ultra-High Performance Concrete: A State-of-the-Art Report for the Bridge Community*. Georgetown, EEUU: Federal Highway Administration.
- IECA. (2017). *Componentes y propiedades del cemento*. Obtenido de INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES: https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179
- Kazemi, S., & Lubell, A. (2012). Influence of Specimen Size and Fiber Content on Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete. *ACI MATERIAL JOURNAL*.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Illinois: Portland Cement Association.
- León Parra, L. (2009). "Diseño de mezclas para Hormigón Autocompactante". Guayaquil, Guayas, Ecuador: ESPOL.
- Li Misson, D., Ahlborn, P., & Peuse, E. (8 de Noviembre de 2008). *Ultra-High-Performance-Concrete for Michigan Bridges*. Michigan, Estados Unidos: Michigan Technological University.
- López Martínez, J. Á. (febrero de 2012). *Adaptacion del modelo de comportamiento del ultra high performance concrete (UHPC) para el estudio de la respuesta y análisis numérico de una celosía*. Valencia, España: Universitat Politècnica de València.

- Maroliya, M. (2012). An Investigation on Reactive Powder Concrete containing Steel Fibers and Fly- Ash. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2.
- Mindess, S., Young, J., & Darwin, D. (2003). CONCRETE. Estados Unidos: Pearson Education, Inc.
- Müller, H., & Haist, M. (2012). New types of high performance concretes – Potentials for innovations in concrete constructi. En M. N. Fardis (Ed.), *Innovative Materials and Techniques in Concrete Construction* (págs. 43–58). Patras, Greece: Springer.
- Neville, A. (2002). *Properties of Concrete*. Edinburgh Gate, England: Pearson.
- Neville, A., & Brooks, J. (2010). *Concrete Technology*. Harlow - England: Pearson Education Limited.
- Niño Parra, P. (2014). *INFLUENCIA DEL RÉGIMEN DE CURADO SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETOS DE ULTRA ALTO DESEMPEÑO (CUAD.* Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- NTE INEN 2617. (2012). Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para Mezcla. Requisitos. Quito, Ecuador: Intituto Ecuatoriano de Normalización.
- Ordoñez Crespo, Á., & Eguez A., H. (27 de Febrero de 2009). *Estudio del comportamiento de Hormigón Simple Mezclado con Polvo Reactivo*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: ESPOL.
- Portugal Barriga, M. I. (2007). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO*. Paris: Imprimerie Lafayette.

Richard, P., & Cheyrezy, M. (1995). Composition of Reactive Powder Concrete. *Cement and Concrete Research*, 1501-1511.

Schmidt, M., & Fehling, E. (2004). *Ultra-High-Performance Concrete: Research, Development and Application in Europe*. Alemania, Kassel, Hesse: Universidad de kassel.

Serma, P., López, J., Coll, H., Camacho , E., Navarro, J., & Galán, F. (4 de Agosto de 2014). *Pasarela de Hormigón de muy alto rendimiento sobre el barranco de las ovejas (Alicantes)*. Valencia, España.

Shann, S. (2012). *Application of ultra High Perfomance concrete UHPC as a thin-bonded overlay for concrete bridge decks*. Houghton, Michigan, EEUU: Michigan Technological University .

Solís Carcaño, R., Moreno , É., & Castillo Pak, W. (2004). *Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados*. Mérida, México: Red de Revistas Científicas de America Latina y el Caribe, España y Portugal.

TULSMA. (2015). *Texto Unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente*. . Ecuador .

www.google.com

www.researchgate.com

www.rialnet.com

