

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“INFLUENCIA DEL USO DE MICROSÍLICE EN LAS
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO
EN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA”.**

PRESENTADO POR:

**PEDRO ERIBERTO LAÍNEZ CRUZ
MAURICIO ERNESTO MARTÍNEZ DÍAZ
GERMAN ERNESTO VELÁSQUEZ ARAUJO**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR :

Ph. D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIEROCIVIL

Título :

**“INFLUENCIA DEL USO DE MICROSÍLICE EN LAS
PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO
EN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA”.**

Presentado por :

**PEDRO ERIBERTO LAÍNEZ CRUZ
MAURICIO ERNESTO MARTÍNEZ DÍAZ
GERMAN ERNESTO VELÁSQUEZ ARAUJO**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docentes Directores :

**INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJIA
ING. JOAQUIN MARIANO SERRANO CHOTO**

San Salvador, Octubre de 2012

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores :

INGRA. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJIA

ING. JOAQUIN MARIANO SERRANO CHOTO

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a Diosito todopoderoso, porque Él ha hecho posible que este Trabajo de Graduación llegue a su fin satisfactoriamente, además porque nos ha protegido durante la ejecución del mismo.

Agradecemos además, a nuestros coordinadores de esta investigación, **Ingra. Lesly E. Mendoza** e **Ing. Joaquín M. Serrano Choto**, por su comprensión y por compartir sus conocimientos con nosotros, convirtiéndose así, en un apoyo fundamental por el cual ha sido posible la culminación de esta investigación.

Agradecemos también, al **Br. Rafael Sánchez Beltrán** por toda la colaboración y apoyo brindado durante la realización de este trabajo de graduación.

Queremos agradecer especialmente al personal del Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador “Mario Ángel Guzmán Urbina” **Ing. Evelio López** y al **Tec. Carlos Morataya**, por la valiosísima ayuda en la parte experimental que nos brindaron durante el desarrollo de la investigación.

Le agradecemos al **Ing. Guillermo Flores** y al **Ing. César Vega** de Holcim Concretos S.A. de C.V. El Salvador, por toda la ayuda y el apoyo que desinteresadamente nos han brindado durante toda la investigación como también al **Ing. Hugo Bonilla** de Holcim Concretos S.A. de C.V. El Salvador, por colaborarnos desinteresadamente, brindándonos una ayuda fundamental para el desarrollo de la investigación.

DEDICATORIA

La finalización de mi carrera ha sido posible al esfuerzo de muchas personas las cuales Dios puso en mi camino, especialmente quiero agradecer este logro:

A Dios todo poderoso por iluminarme, darme la sabiduría y fortaleza para enfrentar todas las dificultades que se presentaron en mi camino y por regalarme una familia hermosa a quien amo mucho.

A mis padres Pedro Laínez Martínez, Lucia Cruz Escamilla por su amor y su apoyo en toda la realización de mi carrera y en todas las etapas de mi vida.

A mis hermanos por su apoyo incondicional en especial a Juan Ernesto Laínez Cruz que gracias a él he llegado finalizar mis estudios superiores. Dios te bendiga siempre.

A mis tíos Josefina Cruz (Q.D.D.G) y Juan Rene Cruz (Q.D.D.G) a quienes amo y agradezco por todo los valores que me inculcaron desde mi infancia.

A todos mis amigos por estar a mi lado a lo largo de toda mi carrera. Dios los bendiga en todos sus proyectos y metas en su vida.

Pedro Eriberto Laínez Cruz

DEDICATORIA

Primeramente le dedico este trabajo de graduación a Dios todo poderoso y a mi virgencita, que gracias a ellos pude finalizarlo con éxito, como también gracias a que me guiaron, me dieron fortaleza y sabiduría, alcance a culminar mi carrera universitaria.

Agradecimientos muy especialmentea mis padres **Margarito de Jesús Martínez** y **Martha Armencia Díaz de Martínez**, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por el amor y confianza que han depositado en mí, gracias por inculcar muchos valores en mí, todo esto se los debo a ustedes.

Quiero agradecerles a todos mis **familiares**, en especial a mis hermanos **Luis Orlando Martínez Díaz** y **José Antonio Martínez Díaz**, por estar conmigo y apoyarme en todo momento, también agradezco a mis abuelas **Paz Martínez** y **Herminia Díaz**, a mi abuelo **Narciso Zometa (Q.D.D.G)**, por quererme y apoyarme.

Finalmente quiero darles las gracias a todos mis **AMIGOS** y a todas aquellas personas que creyeron en mí, en especial a mis compañeros de tesis y por supuesto amigos, **German Ernesto Velásquez**, **Pedro Eriberto Laínez** y **José Rafael Beltrán**, les agradezco por haberme aguantado en todo el trascurso de esta tesis.

¡Muchas Gracias!

Mauricio Ernesto Martínez Díaz

DEDICATORIA

*Nunca consideres el estudio como una obligación
Sino como una oportunidad para penetrar en el
Bello y maravilloso mundo del saber
Albert Einstein*

Este Trabajo de Graduación quiero dedicarlo y agradecerlo principalmente a Dios todopoderoso porque ha sido Él quien ha hecho posible su finalización y me ha dado muchísimas bendiciones en mi vida, me ha guiado y protegido durante estos años de estudio y principalmente, ha sido Él quien me ha brindado la sabiduría para conducirme por la vida.

También dedico este Trabajo de Graduación a mis padres, **German Ernesto Velásquez Martínez y Blanca Estela Araujo de Velásquez**, por la fe que me han transmitido, porque siempre han sido luz en mi vida, porque me han apoyado y educado en todo momento, me han brindado todo su amor y han depositado su confianza en mí desde mi nacimiento y a mis hermanas, **María Isabel Velásquez Araujo y Catalina Isabel Velásquez Araujo**, gracias ellas me enfoque al 100 % en mis estudios.

Finalmente quisiera dedicar este trabajo a todos mis amigos a quienes quiero y a mis compañeros, quienes me han apoyado y con quienes he compartido durante toda mi vida y carrera universitaria, pero principalmente a quienes fueron mi grupo de estudio y mi apoyo incondicional. Le agradezco a **Rafael Alberto Alonzo**, a **Rafael Sánchez Beltrán**, a **Stanley Grijalva Portal**, y a mis amigos **Mauricio Ernesto Martínez y Pedro Eriberto Laínez Cruz**, por haberme comprendido y tolerado durante el desarrollo de este trabajo de Graduación.

German Ernesto Velásquez Araujo

INDICE

RESUMEN	XXIV
CAPITULO 1: GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCION.....	2
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	6
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.5 ALCANCES.....	8
1.6 LIMITACIONES.....	9
1.7 JUSTIFICACIÓN.....	10
CAPITULO 2: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON MICROSÍLICE	11
2.1 INTRODUCCIÓN.....	12
2.2 GENERALIDADES DE LA MICROSÍLICE Y CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA	13
2.2.1 GENERALIDADES DE LA MICROSÍLICE.....	13

2.2.2	APLICACIÓN DE LA MICRICOSÍLICE.....	13
2.2.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE MICROSÍLICE EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.....	15
2.2.4	TIPOS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	16
2.2.5	RELACION AGUA / CEMENTANTES Y MICROSÍLICE.....	17
2.3	COMPONENTES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.....	18
2.3.1	CEMENTO.....	18
2.3.1.1	Definición	18
2.3.1.2	Elección del tipo de cemento a utilizar para concreto de alta resistencia.	18
2.3.1.3	Características del cemento Portland Tipo I	20
2.3.2	AGREGADOS	21
2.3.2.1	Agregado grueso	21
2.3.2.2	Agregados finos.....	24
2.3.3	AGUA.....	27
2.3.4	ADITIVOS.....	30
2.3.4.1	Definición	30
2.3.4.2	Clasificación de los aditivos.....	30
2.3.4.3	Aditivo superplastificante.....	32
2.3.4.4	Clasificación de los aditivos superplastificantes.	33
2.3.4.5	Superplastificantes a base de naftaleno sulfonato	34
2.4	MICROSÍLICE	35
2.4.1	DEFINICIÓN.....	35
2.4.2	PRODUCCIÓN.....	36
2.4.3	PROPIEDADES FÍSICAS.....	37

2.4.4	PROPIEDADES QUÍMICAS	38
2.4.5	REACCIÓN CON EL CONCRETO	40
2.4.6	COMPARACIÓN CON OTROS COMPONENTES MATERIALES CEMENTICIOS	42
2.4.7	REGLAMENTACIÓN DEL USO LA MICROSÍLICE.....	43
2.4.8	REACCIÓN DE LA MICROSÍLICE CON EL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.....	45
2.5	CONCRETO CON MICROSILICE EN ESTADO FRESCO.....	46
2.5.1	GENERALIDADES DE LA MICROSILICE EN EL CEMENTO FRESCO.	46
2.5.2	REOLOGIA DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON MICROSILICE.....	47
2.5.3	MEZCLADO.....	48
2.5.4	CURADO.....	50
2.5.5	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	51
2.5.5.1	Trabajabilidad	53
2.5.5.2	Contenido de aire.....	59
2.5.5.3	Temperatura y tiempo de fraguado.	60
2.6	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON MICROSÍLICE.....	63
2.6.1	GENERALIDADES DE LA MICROSÍLICE Y EL CONCRETO ENDURECIDO.	63
2.6.2	RESISTENCIA A LA COMPRESION	64
2.6.2.1	Medición.....	64
2.6.2.2	Resistencia a la compresión temprana del concreto de alta resistencia con microsilíce.....	64
2.6.2.3	Resistencia a la compresión a largo plazo.	66

2.6.3	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN SIMPLE	70
2.6.3.1	Resistencias a la flexión del concreto de alta resistencia con microsílice.	71
2.6	MÓDULO DE ELASTICIDAD	72
CAPITULO 3: TRABAJO EXPERIMENTAL Y ESPECIFICACIONES A UTILIZAR.....74		
3.1	INTRODUCCIÓN.....	75
3.2	GENERALIDADES	76
3.3	PARAMETROS FIJOS Y VARIABLES.....	77
3.3.1	PARAMETROS FIJOS.....	77
3.3.2	PARAMETROS VARIABLES	81
3.4	METODOLOGIA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL EN LABORATORIO.....	81
3.5	ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN	85
3.5.1	EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	86
3.5.1.1	Fase 1: Selección de los Materiales.....	88
3.5.1.2	Fase 2: Definición de Ensayos a Realizar	90
3.5.1.3	Fase 3: Investigación de las Propiedades de los Materiales	91
3.5.1.4	Fase 4: Diseño de Mezcla	93
3.5.1.5	Fase 5: Diseño de Mezclas con Microsílice.....	93

3.5.1.6	Fase 6: Hechura de Mezcla de Concreto, Elaboración de Especímenes y Ensayos al Concreto en Estado Fresco.	94
3.5.1.7	Fase 7: Ensayos al Concreto Endurecido.....	96
3.5.1.8	Fase 8: Análisis de Resultados.....	98
3.6	REQUISITOS DEL CONCRETO Y SUS COMPONENTES.....	98
3.6.1	REQUISITO DEL CEMENTO	98
3.6.2	REQUISITOS DEL AGREGADO FINO	98
3.6.3	REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO.....	99
3.6.4	REQUISITOS DEL AGUA	99
3.7	SIMBOLIZACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYO.....	100
 CAPITULO 4: PROPUESTA DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO		
		102
4.1	INTRODUCCION.....	103
4.2	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA.	104
4.3	APLICACIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO PROPUESTO POR EL COMITÉ ACI 211.4R-93.....	121
4.3.1	PASO I: INFORMACIÓN DE MATERIALES.....	122
4.3.2	PASO II: SELECCIÓN DEL REVENIMIENTO Y RESISTENCIA DEL CONCRETO REQUERIDO	123
4.3.1	Selección del revenimiento.....	123

4.3.2	Resistencia del concreto requerida.....	124
4.3.3	PASO III: SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO.....	127
4.3.4	PASO IV: SELECCIÓN DEL VOLUMEN ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO.....	128
4.3.5	PASO V: ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE	130
4.3.6	PASO VI: SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/MATERIALES CEMENTICIOS	133
4.3.7	PASO VII: CALCULO DE CANTIDAD DE MATERIAL CEMENTICIO.....	136
4.3.8	PASO VIII: PROPORCIONAMIENTO DE LA MEZCLA PATRÓN CON SOLO CEMENTO COMO MATERIAL CEMENTICIO.....	137
4.3.9	PASO IX: AJUSTE POR CONTENIDO DE AGUA DE LOS AGREGADOS.....	141
4.3.10	PASO X: SELECCIÓN DE PROPORCIONES PARA LABORATORIO	143
CAPITULO 5: ANALISIS DE RESULTADOS		160
5.1	INTRODUCCIÓN.....	161
5.2	PRUEBAS AL CONCRETO	162
5.2.1	PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	162
5.2.1.1	Resultados de Prueba de Revenimiento	163
5.2.1.2	Resultados de Pruebas de Temperatura del Concreto.	164
5.2.1.3	Resultados de Prueba de Contenido de Aire.....	166
5.2.1.4	Resultados de Prueba de Peso Volumétrico en Estado Fresco	167
5.2.1.5	Resultados de Pruebas de Tiempo de Fraguado del Concreto	169

5.2.2	PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	171
5.2.3.1	Resultados de Resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días..	171
5.2.3.2	Resultados de Resistencia a la Flexión a los 28 días	188
5.2.3.3	Resultado de Módulo de Elasticidad	189
5.2.3.4	Resultados de Pesos Volumétricos en Estado Endurecido.	190
5.2.3	CORRELACIONES DE LOS RESULTADOS	192
5.2.3.1	Correlación de Porcentaje de Adición de Microsílice versus Revenimiento.....	192
5.2.3.2	Correlación de Porcentaje de Adición de Microsílice versus Temperatura.	193
5.2.3.3	Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Contenido de Aire.	194
5.2.3.4	Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Peso Volumétrico en estado fresco.	195
5.2.3.5	Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Tiempo de Fraguado.....	196
5.2.3.6	Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Resistencia a la Compresión.....	197
5.2.3.7	Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Resistencia a la Flexión.....	198

5.2.3.8	Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Módulo de Elasticidad.	199
5.2.3.9	Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Peso Volumétrico en estado endurecido.	200
5.2.3.10	Correlación de Resistencia a la Compresión a los 28 días versus Módulo de Elasticidad.	201
5.2.3.11	Correlación de Resistencia a la Compresión a los 28 días versus Resistencia a la Flexión.	203
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		204
6.1	INTRODUCCION.....	205
6.2	CONCLUSIONES	206
6.2.1	PRUEBAS AL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EN ESTADO FRESCO.....	206
6.2.1.1	Ensayo de revenimiento.....	206
6.2.1.2	Ensayo de temperatura.....	207
6.2.1.3	Ensayo de contenido de aire del concreto	209
6.2.1.4	Ensayo de peso volumétrico del concreto en estado fresco.....	210
6.2.1.5	Ensayo de tiempo de fraguado del concreto.	211
6.2.2	PRUEBAS AL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EN ESTADO ENDURECIDO	213
6.2.2.1	Ensayo de resistencia a la compresión.	213

6.2.2.2	Ensayo de resistencia a la flexión.	215
6.2.2.3	Ensayo del módulo de elasticidad.....	216
6.2.3	CORRELACIONES	217
6.2.3.1	Correlación de resistencia a la compresión a los 28 días versus resistencia a la flexión.....	217
6.2.3.2	Correlación de resistencia a la compresión a los 28 días versus módulo de elasticidad.	218
6.3	RECOMENDACIONES	218
	GLOSARIO	222
	BIBLIOGRAFIA.....	227
	ANEXOS.....	234
	ANEXO 1:HOJA TECNICA DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE “EUCON 37”	235
	ANEXO 2:RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO SEGÚN LA NORMA ASTM C- 469	240
	MEZCLA PATRÓN	241
	MEZCLA “A” (7% DE MICROSÍLICE).....	243
	MEZCLA “B” (12% DE MICROSÍLICE)	245
	MEZCLA “C” (17% DE MICROSÍLICE).....	247

ANEXO 3:RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO	
EN EL CONCRETO SEGÚN LA NORMA ASTM C-403.....	249
MEZCLA PATRÓN	250
MEZCLA “A” (7% DE MICROSÍLICE).....	253
MEZCLA “B” (12% DE MICROSÍLICE)	256
MEZCLA “C” (17% DE MICROSÍLICE).....	259
ANEXO 4:RESULTADOS DEL ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN	
DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO SEGÚN LA	
NORMA ASTM C-78.....	262
MEZCLA PATRÓN	263
MEZCLA “A” (7% DE MICROSÍLICE).....	264
MEZCLA “B” (12% DE MICROSÍLICE)	265
MEZCLA “C” (17% DE MICROSÍLICE).....	266
ANEXO 5:PANEL DE FOTOGRAFIAS.....	267

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 2: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON MICROSÍLICE	11
Tabla N° 2.1: Ventajas y desventajas de la aplicación microsílce	15
Tabla N° 2.2: Clasificación de los concretos de alta resistencia	16
Tabla N° 2.3: Composición química, compuestos y finura del cemento Portland Tipo I	20
Tabla N° 2.4: Características de agregados gruesos utilizados en estudios de concretos de alto desempeño en el país	24
Tabla N° 2.5: Características de agregados finos utilizados en estudios de concretos de alto desempeño en el país	27
Tabla N° 2.6: Requerimientos de Desempeño del Concreto para el Agua de Mezclado	29
Tabla N° 2.7: Límites Químicos Opcionales para el Agua de Mezclado Combinada.....	29
Tabla N° 2.8: Clasificación de los aditivos según su función.....	31
Tabla N° 2.9: Clasificación de aditivos químicos, según ASTM C-494.....	31
Tabla N° 2.10: Rangos para la composición química de las microsílce.	39

Tabla N° 2.11: Comparación de la microsílce con otros materiales suplementarios cementicios	42
Tabla N° 2.12: Definiciones de trabajabilidad de varias instituciones.....	54
CAPITULO 3: TRABAJO EXPERIMENTAL Y ESPECIFICACIONES A UTILIZAR.....	74
Tabla N° 3.1: Características de los agregados producidos en la Cantera Holcim “Plantel Comalapa”	89
Tabla N° 3.2: Ensayos a realizar al concreto en esta investigación.....	91
Tabla N° 3.3: Ensayos a realizar a los agregados en esta investigación.....	92
Tabla N° 3.4: Especificaciones de agregado fino para elaborar concreto.....	99
Tabla N° 3.5: Calidad de los agregados gruesos (especificaciones).....	99
Tabla N° 3.6: Simbolización de especímenes para ensayo de resistencia a la compresión	101
Tabla N° 3.7: Simbolización de especímenes para ensayo de resistencia a flexión.....	101
CAPITULO 4: PROPUESTA DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	102

Tabla N° 4.1: Resultados de los ensayos realizados a los materiales para el diseño de las cuatro mezclas de concreto.	104
Tabla N° 4.2: Resultado del ensayo de impurezas orgánicas al agregado fino.	105
Tabla N° 4.3: Resultado de ensayo de granulometría al agregado grueso (Ensayo 1)	106
Tabla N° 4.4: Resultado de ensayo de granulometría al agregado grueso (Ensayo 2)	108
Tabla N° 4.5: Resultado de ensayo de granulometría al agregado fino (Ensayo 1).....	110
Tabla N° 4.6: Resultado de ensayo de granulometría al agregado fino (Ensayo 2).....	112
Tabla N° 4.7: Resultado de ensayo de gravedad específica y Absorción al agregado grueso.	114
Tabla N° 4.8: Resultado de ensayo de gravedad específica y Absorción al agregado fino.	115
Tabla N° 4.9: Resultado de la determinación del peso específico relativo del cemento.	116

Tabla N° 4.10: Resultado de la determinación del peso volumétrico varillado del agregado grueso.	117
Tabla N° 4.11: Resultado de la determinación del peso volumétrico suelto del agregado grueso.	118
Tabla N° 4.12: Resultado de la determinación del peso volumétrico varillado del agregado fino.	119
Tabla N° 4.13: Resultado de la determinación del peso volumétrico suelto del agregado fino.	120
Tabla N° 4.14: información de las propiedades de los materiales	122
Tabla N° 4.15: Revenimiento recomendado para concreto con y sin HRWR	123
Tabla N° 4.16: Tabla resumen de análisis para resistencia de estudio sobre el aditivo HRWR	124
Tabla N° 4.17: Tamaño máximo sugerido de agregado grueso.	127
Tabla N° 4.18: Volumen óptimo de agregado grueso por unidad de volumen	129
Tabla N° 4.19: Estimación de agua de mezclado y contenido de aire del concreto fresco	130
Tabla N° 4.20: Estimación de la $W/(C+P)$ máxima para concretos hechos sin HRWR	133

Tabla N° 4.21: Estimación de la $W/(C+P)$ máxima para concretos hechos con HRWR	134
Tabla N° 4.22: Calculo del volumen de agregado fino.....	140
Tabla N° 4.23: Proporciones del diseño final para un m^3 de concreto	141
Tabla N° 4.24: Proporciones para un m^3 de concreto.....	144
Tabla N° 4.25: Proporciones para un revenimiento de prueba de mezcla patrón.....	145
Tabla N° 4.26: Proporciones para un m^3 de concreto sin correcciones por humedad y con un 15% menos de agregado grueso aumentado a fino.	147
Tabla N° 4.27: Proporciones para un m^3 de concreto sin correcciones por humedad y con un 30% menos de agregado grueso aumentado a fino.	147
Tabla N° 4.28: Proporciones para un m^3 de concreto sin correcciones por humedad y con un 15% menos de agregado grueso aumentado a fino y 10% aumento la cantidad de agua.	148
Tabla N° 4.29: Calculo del agregado fino.	150
Tabla N° 4.30: Proporciones para un m^3 de concreto ya corregidas	151
Tabla N° 4.31: Proporciones para un m^3 de concreto ya corregida	151

Tabla N° 4.32: Proporciones para la bachada final.....	155
Tabla N° 4.33: Correcciones por rendimiento para la mezcla Patrón	157
Tabla N° 4.34: Correcciones por rendimiento para la mezcla A (7% de microsílice).....	158
Tabla N° 4.35: Correcciones por rendimiento para la mezcla B (12% de microsílice).....	158
Tabla N° 4.36: Correcciones por rendimiento para la mezcla C (17% de microsílice).....	159
CAPITULO 5: ANALISIS DE RESULTADOS	160
Tabla N° 5.1: Resultados de prueba de revenimiento	163
Tabla N° 5.2: Resultados de prueba de temperatura del concreto	165
Tabla N° 5.3: Resultados de prueba de contenido de aire.....	166
Tabla N° 5.4: Resultados de prueba de peso volumétrico	168
Tabla N° 5.5: Resultados de prueba de tiempo de fraguado	169
Tabla N° 5.6: Porcentaje de disminución del tiempo de fraguado tanto inicial como final respecto a la mezcla patrón.	170

Tabla N° 5.7: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de todas las mezclas de concreto.	172
Tabla N° 5.8: Porcentajes de ganancia de resistencia de mezclas A B y C con respecto al promedio de la mezcla patrón a los 7 días de estudio.	173
Tabla N° 5.9: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de mezcla patrón (Mezcla P).	174
Tabla N° 5.10: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de mezcla con 7 % de microsílíce (Mezcla A).....	175
Tabla N° 5.11: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de mezcla con 12 % de microsílíce (Mezcla B)	176
Tabla N° 5.12: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de mezcla con 17 % de microsílíce (Mezcla C).....	177
Tabla N° 5.13: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de todas las mezclas de concreto.....	179
Tabla N° 5.14: Porcentajes de ganancia de resistencia de mezclas A B y C con respecto al promedio de la mezcla patrón a los 28 días de estudio.	181
Tabla N° 5.15: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de mezcla patrón (Mezcla P).....	182

Tabla N° 5.16: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de mezcla con 7 % de microsílíce (Mezcla A).....	183
Tabla N° 5.17: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de mezcla con 12% de microsílíce (Mezcla B).....	184
Tabla N° 5.18: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de mezcla con 17 % de microsílíce (Mezcla C).....	185
Tabla N° 5.19: Fallas de especímenes a compresión a los 7 y 28 días	187
Tabla N° 5.20: Resultados de resistencia a la flexión.....	188
Tabla N° 5.21: Resultados de módulo de elasticidad.....	189
Tabla N° 5.22: Resultados de peso volumétrico en estado endurecido.	191

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 2: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON MICROSÍLICE	11
Figura N° 2.1: Fotografía de revenimiento	55
CAPITULO 3: TRABAJO EXPERIMENTAL Y ESPECIFICACIONES A UTILIZAR.....	74
Figura N° 3.1: Actividades a realizar para elaborar las diferentes mezclas con variaciones de porcentajes de adición de microsílce.	83
Figura N° 3.2: Secuencia a seguir en el trabajo de investigación.....	87
CAPITULO 4: PROPUESTA DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	102
Figura N° 4.1: Grafico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico al agregado grueso (Ensayo 1).....	107
Figura N° 4.2: Grafico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico al agregado grueso (Ensayo 2)	109
Figura N° 4.3: Grafico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico al agregado fino (Ensayo 1).....	111

Figura N° 4.4: Grafico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico al agregado fino (Ensayo 2).....	113
Figura N° 4.5: Ecuaciones para el cálculo de la resistencia de diseño.	125
Figura N° 4.6: Cálculo de la resistencia de diseño (f'_{cr}).....	126
Figura N° 4.7: Cálculo de la resistencia de diseño (f'_{cr}).....	127
Figura N° 4.8: Cálculo del peso de agregado grueso para una unidad de volumen de concreto.	129
Figura N° 4.9: Cálculo de contenido de vacíos del agregado fino.	131
Figura N° 4.10: Cálculo ajuste en la cantidad de agua de mezclado.....	132
Figura N° 4.11: Cálculo de la cantidad de agua de mezclado final.	132
Figura N° 4.12: Ajuste de la resistencia a la compresión de diseño (f'_{cr}), para obtener la $W/(C+P)$ máxima.	135
Figura N° 4.13: Ajuste de la resistencia a la compresión de diseño (f'_{cr}), para obtener la $W/(C+P)$ máxima.	136
Figura N° 4.14: Cálculo del contenido de material cementicio.	137
Figura N° 4.15: Cálculo del volumen de cemento Portland para la mezcla patrón.....	138

Figura N° 4.16: Cálculo del volumen de agregado grueso.....	139
Figura N° 4.17: Cálculo del volumen de agua para la mezcla patrón.....	139
Figura N° 4.18: Cálculo peso de agregado fino.....	140
Figura N° 4.19: Cálculo del ajuste por humedad del agregado grueso para la mezcla patrón.	142
Figura N° 4.20: Cálculo del ajuste por humedad del agregado fino para la mezcla patrón.	142
Figura N° 4.21: Cálculo del ajuste por humedad para la mezcla patrón.....	143
Figura N° 4.22: Volumen de mezcla patrón para ensayo en laboratorio.....	144
Figura N° 4.23. Fotografías de revenimientos fallidos.....	145
Figura N° 4.24: Nuevas cantidades del agregado grueso y agua.....	149
Figura N° 4.25: Nueva cantidad de cemento.....	149
Figura N° 4.26: Nueva cantidad de agregado fino.....	150
Figura N° 4.27: Mezcla luego de correcciones de agregados y humedades sin aditivo HRWR.....	152
Figura N° 4.28: mezcla luego de correcciones por agregados y humedades con aditivo HRWR.....	153

Figura N° 4.29. Volumen para bachada.....	154
Figura N° 4.30. Cantidades de materiales para la bachada	154
Figura N° 4.31. Cantidad de microsílíce para 7% de la cantidad de cemento.....	156
Figura N° 4.32. Cantidad de microsílíce para cada mezcla.....	156
CAPITULO 5: ANALISIS DE RESULTADOS	160
Figura N° 5.1: Grafico que nos muestra los resultados de la resistencia promedio a la compresión de todas las mezclas a los 7 días de edad.	178
Figura N° 5.2: Grafico que nos muestra los resultados de la resistencia promedio a la compresión de todas las mezclas a los 28 días de edad.	186
Figura N° 5.3: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus revenimiento.	192
Figura N° 5.4: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus temperatura.	193
Figura N° 5.5: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus contenido de aire.....	194
Figura N° 5.6: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus peso volumétrico en estado fresco.	195

Figura N° 5.7: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus tiempo de fraguado.....	196
Figura N° 5.8: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus resistencia a la compresión a los 7 días.	197
Figura N° 5.9: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus resistencia a la compresión a los 28 días.	198
Figura N° 5.10: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus resistencia a la flexión.....	199
Figura N° 5.11: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus módulo de elasticidad.	200
Figura N° 5.12: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus peso volumétrico en estado endurecido.	201
Figura N° 5.13: Correlación de resistencia a la compresión a los 28 días versus módulo de elasticidad.....	202
Figura N° 5.14: Correlación de resistencia a la compresión a los 28 días versus resistencia a la flexión.	203

RESUMEN

El trabajo de graduación denominado, “INFLUENCIA DEL USO DE MICROSÍLICE EN LAS PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO EN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA”, tiene como objetivo principal cuando se finalice la investigación, establecer la influencia del uso de la microsíllice en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Para establecer el comportamiento de la microsíllice en las propiedades en estado fresco y endurecido, se propuso diseñar una mezcla de referencia a la cual se le llamo mezcla patrón o de referencia.

Antes de definir el diseño definitivo de la mezcla patrón se realizaron mezclas de prueba para poder establecer su revenimiento, el que estaría en un rango de 8-11 pulgadas, seguidamente a dicha mezcla se le adicionaron diferentes porcentajes de microsíllice para lograr establecer así los tres porcentajes de adición.

Después de tener el diseño de la mezcla patrón y las tres mezclas con los diferentes porcentajes de adición, se reprodujo cada una de estas, realizando los siguientes ensayos al concreto en estado fresco: revenimiento, contenido de aire, temperatura, peso volumétrico y tiempo de fraguado; también se realizaron ensayos al concreto en estado

endurecido: resistencia a la compresión a 7 y 28 días de edad, módulo de elasticidad a los 28 días y resistencia a la flexión; esto con el objetivo de determinar el comportamiento de las mezclas con la adición de la microsílíce en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

El trabajo está dividido en seis capítulos, los cuales se detallan brevemente a continuación:

El primer capítulo titulado “GENERALIDADES”, donde se detallan los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y se definen los alcances y las limitaciones de la investigación.

El segundo capítulo titulado: “CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON MICROSILICE”, se expone un resumen general del concreto de alta resistencia, se dan a conocer los diferentes componentes para realizar una mezcla de concreto y algunos parámetros que estos deben de cumplir, este capítulo tiene como objetivo introducir al lector que conozca los concretos de alta resistencia con microsílíce.

En el tercer capítulo titulado: “TRABAJO EXPERIMENTAL EN LABORATORIO Y ESPECIFICACIONES A UTILIZAR”, comprende la parte experimental de la investigación, la metodología a desarrollar, las pruebas que se le realizaran al concreto tanto en estado fresco como endurecido, los requisitos de los componentes del

concreto. Concluyendo con la simbolización de los especímenes de cada una de las mezclas de concreto.

En el cuarto capítulo titulado “PROPUESTA DEL DISEÑO DE MEZCLA”, se detallan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a los componentes del concreto, para verificar su calidad, posteriormente se presenta el diseño de la mezcla de referencia y las diferentes correcciones realizadas a esta y además la determinación de los porcentajes de adición de microsílíce que se reproducirán.

El capítulo quinto titulado “ANÁLISIS DE RESULTADOS” se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al concreto en estado fresco y endurecido y su respectivo análisis.

Para finalizar la investigación, se desarrollan las conclusiones y las recomendaciones de esta, las cuales se presentan en el sexto capítulo titulado: “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”.

CAPITULO

1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

El concreto de alta resistencia, aunque es un material no utilizado frecuentemente en el país, es de mucha aplicación en estos días. Cuando se habla de concretos de alta resistencia se dice que son aquellos cuya resistencia supera los 6,000 psi. (420kg/cm^2).

Se entiende que por ser un concreto con características especiales en su desempeño, sus materiales deben tener un estricto control de calidad tanto en sus cantidades como en su mezclado, éste puede realizarse sin ninguna dificultad, siguiendo cada una de las normas que lo rigen.

En el desarrollo de este capítulo se ha recolectado un buen rango de información acerca de los principales conceptos teóricos y temas de investigación relacionados con el concreto de alta resistencia aplicándole microsílce, específicamente del diseño de mezclas que servirá como antecedentes y como base para la realización de este trabajo de graduación.

Posteriormente se plantean los objetivos, en los que se expone lo que se pretende lograr al desarrollar este estudio y se hace mención sobre los alcances y limitaciones los que son definidos para precisar el rumbo de la investigación; luego se detalla la justificación en la cual se presenta la necesidad y/o importancia de resolver el problema planteado.

1.2 ANTECEDENTES

Conforme se fueron construyendo edificios en altura y construcciones de dimensiones importantes, surgió la necesidad de emplear un tipo especial de concreto dentro de la tecnología del concreto, la cual nos permite alcanzar resistencias elevadas. Algunos de los requerimientos que llevan a construir este tipo de estructuras en ciudades modernas son los siguientes:

- ✓ Construir un emblema de prestigio para las grandes ciudades.
- ✓ Incrementar la relación de superficie útil y área de terreno en ciudades altamente pobladas.

El empleo de concretos de alta resistencia comenzó con sus orígenes en la ciudad de Chicago EE.UU permitiendo construcciones importantes entre las cuales tenemos el Hotel ExecutiveHouse, Chicago, 1959, 113 m; One Shell Plaza, Houston, 1970, 210 m; complejo TwoUnionSquare, Seattle, 1989,139m; Túnel submarino del canal de la Mancha que une Francia e Inglaterra (euro túnel), 1994, longitud 50.5 km; Torres Petronas Kuala Lumpur, Malasia, 2003, 452m; y muchos otros más.

En nuestro país se ha comenzado a utilizar este tipo de concreto un ejemplo de la utilización de este concreto tenemos las siguientes obras: Pasos a desnivel en el AMSS,

Reparación de vertedero de presa hidroeléctrica 15 de septiembre; Torre futura en World Trade Center en San Salvador; entre otros. En este ámbito se han realizado investigaciones sobre el concreto de alta resistencia y una de ellas tiene como título “Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido” en ella se observa cómo influyen los componentes del concreto (arena, grava y cemento) de nuestro medio en este tipo de concreto.

El concreto de alta resistencia es un concreto especial que para lograr resistencias mayores a los 450 kg/cm^2 se pueden aplicar diferentes técnicas y una de ellas es utilizar aditivos como el superplastificante, pero adicionalmente existe una adición que permite tener resistencias elevadas la cual es la microsílíce.

Los precursores en aplicar la microsílíce a la mezcla de concreto fueron los canadienses por los estudios realizados por la Canadá Metal (CANMET). La primera norma sobre microsílíce se dio en Noruega en 1978 y el ASTM aprobó una especificación en 1993.

El edificio Scotia Plaza, construido en Toronto, Canadá, fue el primero en el que se utilizó la microsílíce como aditivo en la mezcla de concreto, alcanzando una resistencia a los tres meses de 90 MPa. En países como Venezuela se han construido obras importantes utilizando esta adición entre las cuales podemos mencionar el Metro de Caracas, Represa Macagua II.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al crecimiento poblacional que tiene nuestro país en los últimos años y la limitación del espacio territorial. Se ha visto la necesidad de construir edificios de gran altura, para poder cumplir los requerimientos estructurales y las cargas soportadas por el edificio, obliga a aumentar las dimensiones de los elementos de concreto, una alternativa a esto es utilizar concretos de alta resistencia, debido a las características de estos concretos permite disminuir dichas dimensiones.

Los concretos de alta resistencia son aquellos que se diseñan con relaciones aguas cementos bajas, pero debido a esto disminuye la trabajabilidad lo que conlleva a utilizar un aditivo superplastificante. Adicionalmente en los países donde se ha utilizado este tipo de concreto, han tenido buenos resultados agregándole otro aditivo el cual es la microsílíce, este aditivo ayuda al concreto a brindar mayores resistencias.

En nuestro país se ha tenido muy poca investigación en el área de concretos de alta resistencia, y mucho menos con la aplicación de la microsílíce, la idea de esta investigación es observar el comportamiento del uso de la microsílíce en los concretos de alta resistencia con materiales de nuestro país y ver cómo influye en algunas propiedades en estado fresco y endurecido.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Determinar la influencia del uso del microsílíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Realizar una investigación teórica con el fin de conocer la influencia del microsílíce en el concreto de alta resistencia.
- ✓ Conocer las propiedades de los componentes del concreto de alta resistencia utilizados en El Salvador.
- ✓ Diseñar una mezcla de concreto de alta resistencia con una resistencia a la compresión superior a 500 kg/cm^2 , la cual se tomará como referencia.

- ✓ A la mezcla de concreto de referencia elaborada, se le adicionará 3 porcentajes de microsílíce en el rango de 5 a 20% , con estas mezclas de concreto se realizará la investigación.

- ✓ Verificar la influencia de la microsílíce en las propiedades en estado fresco a través de los ensayos de laboratorio como: el revenimiento, temperatura, contenido de aire, peso unitario, tiempo de fraguado.

- ✓ Verificar la influencia de la microsílíce en las propiedades en estado endurecido a partir de: módulo de ruptura, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad

- ✓ Realizar correlaciones de la variación en la dosificación de la microsílíce sobre el concreto en estado fresco y endurecido.

1.5 ALCANCES

La investigación que se llevará a cabo, se desarrollará en base a una mezcla de concreto de alta resistencia con una resistencia a la compresión que sea superior a 500 kg/cm^2 .

Se realizarán pruebas con diferentes porcentajes de microsilíce previamente establecidos en los objetivos con el fin de observar la variación del aumento de la resistencia a las edades de 7 y 28 días.

En base a las normas de concreto en estado fresco: Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico (ASTM C143), Método de ensayo estándar para la medición de la temperatura del concreto fresco (ASTM C1064), método estándar para la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) del concreto basado en (ASTM C138), Ensayo de contenido de aire (ASTM C231), Ensayo de tiempo de fraguado del concreto (ASTM C403); y en estado endurecido: Ensayo a la resistencia a la compresión (ASTM C39), Resistencia a la flexión de las vigas de concreto (ASTM C78) se verificará la influencia de la microsilíce.

Se elaborarán correlaciones que reflejen el porcentaje microsilíce vs las propiedades en estado fresco y endurecido de la mezcla de concreto.

1.6 LIMITACIONES

- ✓ La selección de los agregados que se utilizará en la investigación se verán limitados a un solo banco de materiales, que deberán cumplir con las especificaciones para el diseño de la mezcla de concreto, por lo tanto los resultados estarán sujetos a las propiedades de dichos agregados.

- ✓ La investigación se hará con un solo tipo de cemento, el cual será cemento portland tipo I, por consiguiente se limitará a los resultados obtenidos con este tipo de cemento y a la adición de la microsílíce.

- ✓ Las pruebas que se le realizarán al concreto de alta resistencia con la adición de microsílíce, se efectuarán solo en el laboratorio y no se hará ninguna prueba en campo, por lo que no se verá los cambios que produce estas pruebas a la mezcla de concreto.

1.7 JUSTIFICACIÓN

A medida que pasa el tiempo ha ido evolucionando la tecnología del concreto, debido a los avances tecnológicos, los cuales requieren concretos especiales como son los concretos de altas resistencia con diversas adiciones, una de ellas es la microsílíce (humo de sílice).

Pero en nuestro medio contamos con pocas investigaciones de la influencia que tiene esta adición en este tipo de concreto, por lo que no conocemos su comportamiento con agregados de nuestro país, por ende se pretende realizar la siguiente investigación
”INFLUENCIA DEL USO DE MICROSÍLICE EN LAS PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO EN CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA”

Los resultados e información que recopilaremos se lograrán estudiando a través de ensayos de laboratorio (estado fresco y endurecido), el comportamiento al dosificar microsílíce al concreto en diferentes proporciones.

La investigación tiene como fin, aportar información importante con los cuales se podrá conocer cuál es la influencia de la microsílíce en las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido, dejando como beneficio el conocer su comportamiento, así como sentar las bases para futuras investigaciones en esta área y su factibilidad para aplicarlas en nuestro medio.

CAPITULO 2: *CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON MICROSÍLICE*

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se da a conocer la parte teórica de la investigación, primeramente se menciona las generalidades de la microsílíce y los concretos de alta resistencia, se menciona la aplicación, ventajas y desventajas del uso de la microsílíce como también los tipos de concreto de alta resistencia , relaciones de agua cementantes, componentes del concreto y aditivos.

Además se da a conocer las propiedades físicas y químicas de la microsílíce como también su producción y la reglamentación del uso de dicha adición al concreto.

Se da a conocer las diferentes propiedades del concreto con microsílíce en estado fresco como son: revenimiento, temperatura, contenido de aire y tiempo de fraguado. Y además se menciona el mezclado y curado para concretos de alta resistencia.

En lo último de este capítulo se presentan las propiedades del concreto en estado endurecido como son: resistencia a la compresión a edades tempranas y edades tardías, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión.

2.2 GENERALIDADES DE LA MICROSÍLICE Y CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

2.2.1 GENERALIDADES DE LA MICROSÍLICE

La rama de la microsíllice es muy amplia, debido a eso surgen varios autores con diferentes definiciones, una definición es: “un polvo muy fino, el cual es obtenido por decantaciones del humo de chimeneas de altos hornos de aleaciones metálicas de la industria de la ferro silicón”, el cual nos dice que está compuesto de 90% al 95% de dióxido de sílice amorfo el cual tiene propiedades puzolánicas, las cuales permiten reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio para formar un gel con un notable incremento en las propiedades del concreto, el cual hace que mejore la resistencia a la compresión y durabilidad del mismo.

2.2.2 APLICACIÓN DE LA MICROSÍLICE

La adición microsíllice inicialmente a comenzado a ser un remplazo del cemento, con el fin de que aumente la resistencia y disminuya la cantidad de cemento, eso se hace con la finalidad de construir más estructuras en menos tiempo, optimizando costos.

Es por estos motivos que en la actualidad la aplicación de microsílíce a nivel mundial ha aumentado, siendo esta utilizada en Puentes, altos edificios (rascacielos) o túneles, son las estructuras que por su ubicación, solicitud de carga y/o altas ataques de agentes ambientales se construyen con los concretos de altas resistencia; entre las principales aplicaciones en este tipo de estructuras tenemos:

- ✓ En el caso de puentes, incrementa durabilidad, disminuye ataques abrasivos, permite diseños más ligeros obteniendo longitudes de ensamblaje más largas, la resistencia a ataques de ambiente marino y mejora la colocación debido a su rápido incremento de resistencia.
- ✓ En caso de edificios mejora la posibilidad de conseguir miembros más esbeltos, conexiones fáciles y simplicidad constructiva. En ambos casos se aplica además el requerimiento de esteticidad, es decir una estructura estéticamente agradable sin dejar de ser funcional.
- ✓ Mejora la alta resistencia inicial y el incremento a la resistencia a los ataques químicos y ambientales, lo cual se traduce en una mayor protección a la armadura manteniendo así la unión entre acero y el cemento.

2.2.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE MICROSÍLICE EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

Debido a que la microsíllice con el tiempo ha comenzado a ser utilizada como un cementante más en la elaboración de concretos de alta resistencia, debemos de tener claros las ventajas y desventajas que nos brinda la utilización de esta adición, a continuación se presenta en la Tabla N° 2.1 algunas de las ventajas y desventajas de la aplicación de la microsíllice.

Tabla N° 2.1: Ventajas y desventajas de la aplicación microsíllice

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Posibilidad de disminuir secciones transversales de los elementos estructurales.	Se requiere personal capacitado para su manejo
Rapidez en la construcción.	Sensible a las variaciones de las materias primas
Uso eficiente del cemento.	Mayor precio unitario de material.
Uso eficiente de la mano de obra.	Requiere excelentes condiciones de curado.
Su módulo de deformación es más elevado y, por tanto, tienen un menor acortamiento debido a esfuerzos axiales.	Necesidad de utilizar aditivos para mejorar las propiedades de trabajabilidad de la mezcla para la colocación del concreto en la obra.
Disminuye el porcentaje de aire en la mezcla de concreto, aumenta el tiempo de fraguado inicial y final.	Cualquier adición de agua, cemento o aditivo en obra alterará su diseño, perjudicando la calidad del concreto.
Aumenta la vida útil de la estructura. El incremento de la resistencia, resistencia a la flexión y una mayor resistencia ante el ataque de agentes agresivos externos al mismo.	Se deben cumplir estrictamente todas las normas referentes a manejo, protección y control del concreto.

FUENTE: Presentación digital: Tipos de concretos especiales, CESSA.

2.2.4 TIPOS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

La clasificación de los concretos de alta resistencia ha sido resultado de la combinación de la experiencia y los últimos avances en la tecnología del mismo; para clasificar este tipo de concreto, la escala de alta resistencia ha sido dividida en cinco clases diferentes, las cuales se definen por valores de resistencia a la compresión, en un aumento de 25 MPa entre cada una de ellas¹, como se presenta en la Tabla N° 2.2.

Tabla N° 2.2: Clasificación de los concretos de alta resistencia

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	MPa Kg/cm ²	50-75 510-765	75-100 765-1020	100-125 1020-1275	125-150 1275-1530	150 ó + 1530 ó +
Clase de concreto de alta resistencia		I	II	III	IV	V

FUENTE: P-C. AÍTCIN, "Concreto De Alto Desempeño".

Los valores de resistencia a la compresión especificados para las diferentes clases de concreto de alta resistencia (Tabla N° 2.2) no deben ser considerados como absolutos ya que corresponden a valores promedio obtenidos a 28 días; curados en condiciones estándar aplicadas en el curado del concreto convencional, por lo cual se deberá tomar en consideración la desviación estándar de la producción del concreto.

¹P-C. AÍTCIN, "Concreto De Alto Desempeño", Capítulo 7. Sección 7.2. Universidad de Sherbrook, Quebec, Canadá

2.2.5 RELACION AGUA / CEMENTANTES Y MICROSÍLICE

La relación agua / cementantes es el valor característico más importante en la tecnología del concreto, este valor es el que indica si la mezcla de concreto tendrá una resistencia elevada o una resistencia baja, ya que relaciones agua /cementantes bajas indican resistencias elevadas por el contrario relaciones agua/ cementantes altas resistencias bajas pero una mejor trabajabilidad en la mezcla.

Una relación agua / cementantes no solo es agua y cemento por eso mismo se indica cementantes que pueden ser: microsíllice, cenizas volantes, puzolanas naturales, etc., al colocar estos otros cementantes puede ser que las relaciones agua / cemento baje pero a su vez se obtenga una mayor resistencia e incluso disminuir la cantidad de cemento y colocar uno de las adiciones previamente mencionados.

2.3 COMPONENTES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

2.3.1 CEMENTO

2.3.1.1 Definición

El cemento es el aglomerante en una mezcla de concreto, actualmente se utilizan los denominados cementos Pórtland en sus distintos tipos los cuales al ser mezclados con agua tienen las propiedades de fraguar y endurecer. Este cemento es el resultado de pulverizar piedra caliza y arcilla los cuales se mezclan en hornos a temperaturas de 1400 a 1600 grados centígrados, de esa manera se obtiene un material llamado clinker el cual posee propiedades hidráulicas; por lo tanto el Cemento Portland es un ligamento hidráulico que se obtiene al moler finamente el clinker de cemento Portland con un cantidad de yeso que está en el rango de 4 a 5 %.

2.3.1.2 Elección del tipo de cemento a utilizar para concreto de alta resistencia.

En el medio que vivimos hay varios tipos de cementos para cada tipo de uso, uno de esos son: para carreteras, albañilería, edificaciones de uso en general, etc. Es por ese motivo que la elección correcta del cemento para la elaboración de concreto de alta

resistencia es indispensable, ya que la reología examina el comportamiento de los cuerpos sólidos, líquidos e intermedios entre ambos, que se deforman y fluyen por efecto de las fuerzas que actúan en ellos, es decir, cuerpos que tienen cierta plasticidad y la resistencia.

La reología de un cemento específico viene determinada por el control del C_3A (Aluminato Tricálcico, este contribuye al desarrollo de resistencia en los primeros días ya que es el primer compuesto en hidratarse), conforme más reactivo sea este compuesto más fácil será el control de su reología, o de otra manera entre menor sea la cantidad de C_3A en la composición química de un cemento se facilitará el control de su reología; desde la perspectiva de resistencia el cemento deberá estar finamente molido, y contener una cantidad justa de C_3S (Silicato Tricálcico, es el compuesto más abundante en el cemento y aporta principalmente las resistencias iniciales), para no afectar el comportamiento reológico.

Debido a esto se analizan las propiedades químicas y los requisitos de los cinco tipos de cemento Portland según la norma ASTM C-150 “Especificación normalizada para los Cementos Portland” y se llega a la conclusión que en El Salvador el tipo de cemento a utilizar para fabricar concreto de alta resistencia es el portland Tipo I.

2.3.1.3 Características del cemento Portland Tipo I

El cemento tipo I es un cemento de uso general, en nuestro país este cemento es fabricado en base a la norma ASTM –C150, la fabricación de este cemento es similar a la fabricación de cualquier otro tipo de cemento, pero cabe decir que este cemento está constituido nada mas de clinker y yeso.

Debido que es un cemento general, el cual puede ayudar a alcanzar altas resistencias puede ser utilizado en pavimentos, pisos, edificios de concreto reforzado, puentes, pasos a desnivel etc.

De igual forma, debido al desarrollo de altas resistencias a la compresión a edades tempranas, es utilizado para la fabricación de productos de concreto, tales como: bloques, tubos, pilas, adoquines y otros prefabricados; en la Tabla N° 2.3 se presentan algunas propiedades en la composición química del cemento Portland Tipo I.

Tabla N° 2.3: Composición química, compuestos y finura del cemento Portland Tipo I.

TIPO DE CEMENTO PORTLAND	COMPOSICIÓN QUÍMICA % (PROMEDIO)						Na ₂ O EQ. (PROM.)	COMPOSICIÓN POTENCIAL DE LOS COMPUESTOS % (PROMEDIO)				FINURA BLAINEm ² /Kg (PROMEDIO)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
I	20.5	5.4	2.6	63.9	2.1	3.0	0.61	54	18	10	8	369

FUENTE: Diseño y control de mezclas de concreto. EB201. P.C.A.

2.3.2 AGREGADOS

2.3.2.1 Agregado grueso

El agregado grueso se puede decir que es aquel cuyo tamaño de partícula es mayor a 4.75mm (malla N° 4), debido a que hay una gran gama de tamaños para los agregados gruesos, cabe recalcar que para la elaboración de concretos de alta resistencia es necesario utilizar solamente un rango de esos valores ya que con ello obtendremos resistencias adecuadas.

Muchos estudios han demostrado que al utilizar agregados gruesos con un tamaño máximo nominal de 9.5 mm a 12.5 mm ($\frac{3}{8}$ a $\frac{1}{2}$ pulg.) se obtienen resistencias más elevadas.

Estos agregados deben cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C-33; la elección del agregado grueso se vuelve más importante en cuanto aumenta la resistencia a la compresión de un concreto, las rocas duras y densas trituradas como la caliza, dolomita y rocas ígneas de tipo plutónico (granito, sienita, diorita, gabro, etc.), han sido utilizadas con éxito como agregado grueso en aplicaciones de concreto de alta resistencia².

²P-C. AITCIN, "Concreto De Alto Desempeño", Capítulo 7. Sección 7.3.10.2. Universidad de Sherbrook, Quebec, Canadá

La forma de agregado grueso también es muy importante desde el punto de vista reológico, durante el proceso de trituración es primordial generar partículas de forma cubica, en vez de planas y alargadas, ya que estas son débiles y tienden a producir mezclas duras que requieren más agua o aditivo para lograr la trabajabilidad requerida.

Desde el punto de vista de forma y resistencias; los mejores agregados gruesos para elaborar concreto de alta resistencia son las gravas glaciares o mejor aún las gravas fluvioglaciares, porque generalmente están hechas de la parte más resistente y dura de las rocas trituradas por el glaciar, ya que estas han sido lavadas profundamente por el agua que fluye desde el glaciar que se derrite³.

Este tipo de agregados no son fáciles de encontrar, y para este caso sería imposible encontrarlos debido a la zona geográfica en que se encuentra el país, debido a esto los agregados usados son las gravas fluviales, que aunque no son tan buenas como las glaciares o fluvioglaciares, por lo general sus partículas no son tan duras y resistentes, además su superficie es lisa debido a la acción de pulido a la que están expuestas, generalmente su superficie no esta tan limpia, disminuyendo considerablemente la adherencia con la pasta de cemento, lo cual provoca fallas prematuras en el concreto.

La elección del agregado grueso es de suma importancia ya que si se elige un agregado muy redondo se pueden obtener una menor adherencia pero una mejor trabajabilidad,

³P-C. AITCIN, “Concreto De Alto Desempeño”, Capitulo 7. Sección 7.3.10.2. Universidad de Sherbrook, Quebec, Canadá

pero por lo contrario si se elige un agregado anguloso, se obtiene una mayor adherencia pero una menor trabajabilidad, es por eso que se debe elegir un punto óptimo donde se combinen los dos tipos de agregados.

Pero cabe recalcar que para concretos de alta resistencia, se considera que el agregado ideal debe ser 100% triturado, de perfil angular y textura rugosa, limpio, duro, resistente, poco absorbente, de preferencia con el menor porcentaje de partículas planas y alargadas.

En investigaciones realizadas sobre concreto de alto desempeño en nuestro país, se obtuvieron resistencias superiores a los 420 kg/cm^2 ; en la Tabla N° 2.4 se muestran las características de los agregados.

Tabla N° 2.4: Características de agregados gruesos utilizados en estudios de concretos de alto desempeño en el país

NOMBRE DE LA INVESTIGACION	PROCEDENCIA	TIPO DE MATERIAL	TMA*	PESO VOLUMETRICO (PROMEDIO)	GRAVEDAD ESPECIFICA (PROMEDIO)	ABSORCIÓN (PROMEDIO)
“Estudio de concretos con alta resistencia a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente”. Tesis UES 1994	Pedraera “La Cascada” (Rio San Antonio, San Diego, La Libertad)	Grava triturada, de un yacimiento de Basalto.	19mm.6 ¾ pulg	1556 kg/cm ³ (suelto)	2.64	2.4
“Concreto autocompactable: propuesta para el diseño de mezcla. Beneficios técnicos y consideraciones básicas para su implementación en El Salvador”. Tesis UES 2004.	Pedraera “La Cantera” (Km 57 ½ Carretera al Puerto de La Libertad, San Diego, La Libertad)	Grava triturada, de un yacimiento de Basalto.	12.5mm.6 ½ pulg	1384 kg/cm ³ (suelto) 1436 kg/cm ³ (Varillado)	2.45	2.8
“Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido”. Tesis UES 2010	Cantera de la empresa Holcim El Salvador, S.A. de C.V. “Plantel Comalapa”, La Paz, la cual está ubicada en el Km 42 ½ de la carretera antigua a Zacatecoluca	Grava triturada, de un yacimiento de Basalto.	12.5mm.6 ½ pulg	1699.8 kg/cm ³ (Varillado)	2.54	3.6

*TMA: Tamaño máximo del agregado

FUENTE: Tabla elaborada a partir de las características del material determinadas en las investigaciones mencionadas.

2.3.2.2 Agregados finos

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 4.75 mm, generalmente la distribución del tamaño de las partículas de agregado fino ha permanecido dentro de los límites

recomendados para concreto normal por ASTM C-33, sin embargo el agregado fino elegido debe de tener módulo de finura en el rango de 2.7 a 3.0⁴.

El uso de arena gruesa se sustenta en el hecho de que, en todas las mezclas de concreto de alta resistencia, la cantidad de cemento y cementantes es alta, por lo tanto existe una cantidad suficiente de partículas finas, y no es necesario el uso de arena fina para mejorar trabajabilidad o evitar segregación, además, el uso de arena gruesa provoca una mínima disminución en la cantidad de agua de mezclado, lo cual es ventajoso en cuanto a la resistencia y permite un corte más fácil de la pasta de cemento durante el mezclado.

El uso de uno u otro tipo de arena es indiferente en cuanto a sus ventajas, siempre y cuando ésta sea clara y no tenga arcilla o sedimentos, la arena natural debe contener una cantidad mínima de partículas de grosor mayor a 4.75 mm porque, generalmente estas partículas no son muy resistentes y pueden convertirse en un punto débil en el concreto.

Debido a que la calidad del agregado fino para elaborar concretos de alta resistencia es muy importante, a continuación se presentan algunas recomendaciones para escoger este tipo de agregado:

⁴P-C. AITCIN, “Concreto De Alto Desempeño”, Capítulo 7. Sección 7.3.10.1. Universidad de Sherbrook, Quebec, Canadá

- ✓ Un agregado fino con un perfil redondeado y una textura suavizada requiere menos agua de mezclado en el concreto, por esta razón es más recomendado el uso de este tipo de agregado cuando se requiere concretos con bajas relaciones agua/cementantes.

- ✓ Las arenas con módulos de finura por debajo de 2.5 dan concretos con consistencias densas, que los hace difíciles de compactar, por el contrario las arenas con módulos de finura igual o mayor a 3.0 dan los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencias a la compresión; para concretos de alta resistencia se recomienda usar arenas con un módulo de finura cercano a 3.0.

- ✓ Para concretos con relaciones agua/cementantes bajas las cantidades de materiales cementantes son generalmente altas, por lo que, la granulometría del agregado fino no tiene mucha importancia.

Como se mencionó anteriormente, en el país se han realizado investigaciones de concreto de alto desempeño, obteniendo resistencias superiores a 420kg/cm^2 , en la Tabla N° 2.5 se muestran las características de los agregados finos utilizados.

Tabla N° 2.5: Características de agregados finos utilizados en estudios de concretos de alto desempeño en el país

NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN	PROCEDENCIA	TIPO DE MATERIAL	MÓDULO DE FINURA (PROMEDIO)	PESO VOLUMETRICO (PROMEDIO)	GRAVEDAD ESPECIFICA (PROMEDIO)	ABSORSIÓN (PROMEDIO)
“Estudio de concretos con alta resistencia a la agresión provocada por la contaminación del medio ambiente”. Tesis UES 1994	Plantel de “Gravas El Pacífico”, Río Jiboa, La Paz.	Arena Natural proveniente de la degradación de rocas basálticas	2.77	1526 kg/cm ³ (suelto) 1582 kg/cm ³ (Compactado)	2.62	3.7
“Concreto autocompactable: propuesta para el diseño de mezcla. Beneficios técnicos y consideraciones básicas para su implementación en El Salvador”. Tesis UES 2004.	Reservas de Concretera Salvadoreña, procedente del Km 40 Carretera Troncal del Norte, Aguilares, San Salvador)	Arena natural proveniente de la degradación por intemperismo	2.63	1407kg/cm ³ (suelto) 1610 kg/cm ³ (Compactado)	2.48	4.7
“Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido”. Tesis UES 2010	Cantera de la empresa Holcim El Salvador, S.A. de C.V. “Plantel Comalapa”, La Paz, la cual está ubicada en el Km 42 ½ de la carretera antigua a Zacatecoluca	Arena natural proveniente de la degradación por intemperismo	2.98	1758.6kg/cm ³ (Varillado)	2.64	2.5

FUENTE: Tabla elaborada a partir de las características del material determinadas en las investigaciones mencionadas.

2.3.3 AGUA

El agua en el concreto ocupa un papel predominante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido del concreto; el agua se emplea en el concreto en dos diferentes formas, como ingrediente en la elaboración de las mezclas (agua de mezclado) y como medio de curado de las estructuras recién construidas.

Según la norma ASTM C-1602, el agua de mezclado consiste en:

- ✓ Tanda de agua (agua pesada o medida por la planta suministradora)
- ✓ Hielo
- ✓ Agua añadida por el operador del camión
- ✓ Agua libre en los agregados
- ✓ Agua introducida en la forma de añadidura cuando esta agua incrementa la relación agua-cemento de los materiales en más de 0.01

Es permitido el uso de agua potable para consumo humano como agua de mezclado en concreto sin el examen de conformidad con los requerimientos de esta especificación. El agua de mezclado que está total o parcialmente compuesta de fuentes de agua que no son potables o que provienen de las operaciones de producción del concreto son permitidas para ser usadas en cualquier proporción en concordancia con los límites cualificados de los requerimientos de la Tabla N° 2.6. Para la opción del solicitante y cuando sea apropiado para la construcción, cualquiera de los límites opcionales encontrados en la Tabla N° 2.7 será especificado al momento de ordenar el concreto de acuerdo a la sección de Información de Órdenes de la Especificación C 94/C 94M.

Tabla N° 2.6: Requerimientos de Desempeño del Concreto para el Agua de Mezclado

	LÍMITES	MÉTODOS DE ENSAYO
Resistencia a compresión, % min, control a los 7 días^{AB}	90	C 31/C 31M, C 39/C 39M
Tiempo de colocación, desviación del control, h:min^A	1:00 antes, de la referencia ó 1:30 después.	C 403/C 403M
^A Las comparaciones serán basadas en las proporciones corregidas para un diseño de mezcla de concreto representativo del suministro de agua cuestionable y una mezcla de control usando un 100% de agua potable o agua destilada. (Ver anexo A1). ^B La fuerza a la compresión resultante estará basada en por lo menos dos especímenes estándar de ensayo hechos de una muestra compuesta.		

FUENTE: Norma ASTM C-1602/ C-1602M – 06. Especificación Estándar para agua de Mezclado Usada en la Producción de Concreto de Cemento Hidráulico.

Tabla N° 2.7: Límites Químicos Opcionales para el Agua de Mezclado Combinada

	LÍMITES	MÉTODO DE ENSAYO
Concentración máxima en agua de mezclado combinada; ppm^B		
A. Cloruros como Cl, ppm		
1- En concreto pre-esforzado, cubiertas de puentes o designado de otra manera.	500 ^C	C 114
2- Otro concreto reforzado en ambientes húmedos o contenedores de aluminio empotrado o metales no semejantes o con metales galvanizados con la forma: stay-in-place	1,000 ^C	C 114
B. Sulfatos como SO₄, ppm	3,000	C 114
C. Alcalis como (Na₂O + 0.658K₂O), ppm	600	C 114
D. Total de sólidos por masa, ppm	50,000	C 1603
^A Límites especificados ^B ppm es la abreviación para partes por millón. ^C Los requerimientos para el concreto en ACI 318 gobernarán cuando el fabricante pueda demostrar que estos límites para el agua de mezclado pueden ser excedidos. Para condiciones que permitan el uso del acelerador cloruro de calcio (CaCl ₂) como una añadidura, es permitido que el solicitante renuncie a la limitación de cloruro.		

FUENTE: Norma ASTM C-1602/ C-1602M – 06. Especificación Estándar para Agua de Mezclado Usada en la Producción de Concreto de Cemento Hidráulico.

2.3.4 ADITIVOS

2.3.4.1 Definición

Según el ACI 116.R, los aditivos son materiales distintos del agua, agregados, cemento hidráulico, y adiciones que se utilizan como ingredientes del concreto y se añaden a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, con el objeto de modificar sus propiedades, para que se adecuen mejor a las condiciones de trabajo, haciendo posible un adecuado transporte, comportamiento durante y después de colocado o para reducir los costos de producción.

2.3.4.2 Clasificación de los aditivos

Los aditivos se pueden clasificar de distintas formas, esto depende de las características de cada tipo; en la Tabla N° 2.8 se presenta una clasificación basada en la función que el aditivo realiza en la mezcla de concreto:

Tabla N° 2.8: Clasificación de los aditivos según su función

TIPO DE ADITIVO	DESCRIPCIÓN
Aditivos inclusores de aire:	Se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto, lo cual mejora la durabilidad de concretos que estarán expuestos a ciclos de congelación y deshielo.
Aditivos reductores de agua	Se emplean para disminuir la cantidad de agua de mezclado requerida para un revenimiento especificado, disminuyen la relación agua/cemento, por lo que se obtiene un aumento de resistencia.
Aditivos retardantes	Se emplean para compensar los efectos acelerante que el clima cálido puede producir al fraguado del concreto o para retrasar el fraguado inicial en colados difíciles.
Aditivos acelerantes	Se utilizan cuando es necesario desencofrar antes del tiempo que las especificaciones contractuales fijan y/o para poner en servicio la obra antes de lo previsto.
Aditivos superplastificantes	Son aditivos reductores de alto rango, que se agregan a los concretos de bajo revenimiento o de baja relación agua/cemento (de alta resistencia), para producir concretos fluidos de alto revenimiento; la condición esencial que se busca al emplear un aditivo superplastificante consiste en aumentar transitoriamente la fluidez de las mezclas de concreto, sin afectar las propiedades potenciales del concreto endurecido, sin embargo, deben tenerse presente los posibles efectos secundarios que se originan a partir de aditivos reductores de agua a fin de prevenirlos, para esto se deben realizar los ensayos correspondientes.

FUENTE: Guía de clases de Tecnología del Concreto, UES, 2011

Según la norma ASTM C-494 “Especificación normalizada para los aditivos químicos para concreto” los aditivos químicos son del tipo A al tipo G, las características de reducción en el agua de mezclado y de fraguado inicial para cada tipo de aditivo, se deben comparar con las de un mezcla de concreto de control que no contiene el aditivo; según su formulación estos aditivos, pueden ser usados para propósitos propios de cada caso, como se describe en la Tabla N° 2.9.

Tabla N° 2.9: Clasificación de aditivos químicos, según ASTM C-494

TIPO DE ADITIVO	CARACTERISTICA
Tipo A	Reductor de Agua
Tipo B	Retardante
Tipo C	Acelerante
Tipo D	Reductor de Agua y Retardante
Tipo E	Reductor de Agua y Acelerante
Tipo F	Reductor de Agua de Alto Rango
Tipo G	Reductor de Agua de Alto Rango y Retardante

FUENTE: Guía de clases de Tecnología del Concreto, UES, 2011

A su vez existen los aditivos finamente divididos que son materiales pulverizados que se agregan al concreto antes del mezclado o durante, esto para mejorar o transformar algunas de las propiedades del concreto de cemento Portland en estado fresco o endurecido. Estos aditivos son generalmente materiales naturales o subproductos, dentro de estos aditivos se encuentra la microsílíce.

En la presente investigación se profundizará en el conocimiento de los aditivos superplastificantes y la microsílíce, ya que estos serán los tipos de aditivo que se utilizaran en el diseño y elaboración de las mezclas de concreto de alta resistencia.

2.3.4.3 Aditivo superplastificante

Como ya se definió en la Tabla N° 2.9, los aditivos superplastificantes, son reductores de agua de alto rango, según la norma ASTM C 494 están clasificados como los tipos F y G, estos se agregan a concretos de bajo revenimiento y baja relación agua/cementantes (como en el caso de concretos de alta resistencia), para producir “concretos fluidos de alto revenimiento” que puedan colocarse con poca o ninguna compactación y sin que produzcan sangrados y exudaciones perjudiciales en el concreto.

Esta clase de aditivos produce un considerable aumento en la trabajabilidad de los morteros y concretos, sin modificar su contenido de agua, la duración de los efectos generalmente es temporal y variable, los morteros y concretos con trabajabilidad

constante pueden lograrse con pequeñas cantidades de agua, ahorrando 12 a 25% del agua de mezclado⁵.

2.3.4.4 Clasificación de los aditivos superplastificantes.

Los superplastificantes comerciales pueden clasificarse ampliamente en cuatro categorías, de acuerdo a la naturaleza química de su base⁶, como se muestra a continuación:

- ✓ Policondensado de formaldehído y melanina sulfonatado, también llamado melanina sulfonato.
- ✓ Policondensado de formaldehído y naftaleno sulfonatado
- ✓ Lignosulfonato.
- ✓ Policarboxilatos.

En esta investigación se utilizará un aditivo superplastificante del tipo “Policondensado de formaldehído y naftaleno sulfonatado, por lo que se profundizara en el conocimiento de este tipo de aditivo.

⁵González Morán, Selma Idalia y otros (2005) “Concreto Autocompactable: propuesta para el diseño de mezcla, beneficios técnicos, consideraciones básicas para su implementación en el Salvador”. Página 119. Tesis. UES.

⁶P-C. AITCIN, “Concreto De Alto Desempeño”, Capitulo 7. Sección 7.3.2. Universidad de Sherbrook, Quebec, Canadá

2.3.4.5 Superplastificantes a base de naftaleno sulfonato

Este tipo de superplastificantes se venden en forma de líquido café, con un 40 a 42% de partículas sólidas, también están disponibles en forma sólida como un polvo café, ambas presentaciones están generalmente disponibles como sales de sodio o calcio, pero más a menudo como sales de sodio.

Existen algunas aplicaciones en las cuales los requisitos de aceptación obligan el uso de la sal de calcio, por ejemplo, cuando se utilizan agregados reactivos al álcali para hacer concreto; por otra parte, en las aplicaciones de alta resistencia se han usado con mayor frecuencia la sal de sodio, ya que es la que más se produce.

Los superplastificantes de naftaleno se han usado, en su mayoría y casi en todas partes, para producir concreto de alta resistencia, a la pregunta de por qué se utilizan los superplastificantes de naftalenos en vez de los de melanina, lo usuarios contestan lo siguiente⁷:

- ✓ Los superplastificantes naftalenos tienen mayor contenido de sólidos, por lo tanto son más eficaces por unidad de costo para lograr un cierto grado de trabajabilidad.

⁷P-C. AITCIN, “Concreto De Alto Desempeño”, Capítulo 7. Sección 7.3.2.2. Universidad de Sherbrook, Quebec, Canadá

- ✓ Con este tipo de superplastificante es más fácil controlar la reología del concreto de alta resistencia debido al ligero retraso que se produce en el fraguado.
- ✓ Los superplastificantes naftalenos son más baratos; al haber más fabricantes competidores existe mayor poder de negociación.
- ✓ La calidad del servicio y la fiabilidad de algunas marcas específicas son excelentes.
- ✓ En este caso también, algunos productores de concreto de alta resistencia admiten con franqueza que se iniciaron con superplastificantes naftalenos y se mantiene con ellos porque todavía obtienen buenos resultados.

2.4 MICROSÍLICE

2.4.1 DEFINICIÓN

La microsíllice suele definirse como una “súper puzolana” por las propiedades que proporciona al cemento. Según el ACI 116R la microsíllice se define como un “muy fino y no cristalino sílice producido en horno de arco eléctrico, como un subproducto de la

producción de silicio o de aleaciones elementales que contienen silicio; también es conocido como humo de sílice condensado o humo de sílice”.

2.4.2 PRODUCCIÓN

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

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

2.4.3 PROPIEDADES FÍSICAS

La microsílíce presenta varias características comunes; tipo amorfo, diámetro promedio muy pequeño, alto contenido de sílice, condensación por vapores de óxido de silicio, etc. A continuación se muestra unas de sus propiedades físicas⁸.

- ✓ **Color:** la microsílíce varía de color gris claro a oscuro, dando una lechada de color negro. Debido a que el SiO_2 es incoloro, el color es determinado por los componentes no silicios, los cuales incluyen el carbón y óxido de hierro. En general al igual que en otros productos derivados de la calcinación por carbón, cuanto más alto es el contenido de carbón, más oscuro es el color.

- ✓ **Densidad:** la densidad de la microsílíce es usualmente reportada como 2.2, sin embargo este valor puede variar según el productor, un alto contenido de carbón en la microsílíce será reflejada en una menor densidad.

- ✓ **Peso unitario no densificado:** el peso unitario suelto de microsílíce colectadas de la producción de metales silíceos y/o aleaciones de ferro silicón es del orden de 130 a 430 kg/m^3 , un valor promedio de 300 kg/m^3 es aceptado. Los silos los cuales pueden contener una masa dada de cemento portland, puedan contener únicamente el 25% de microsílíce.

⁸P-C. AÍTCIN, "Tecnología del Concreto de Alto Desempeño", Capítulo 2. Página 43, Pablo Portugal Barriga, 2004

- ✓ **Superficie específica:** la microsílíce es un conjunto de partículas vítreas muy finas de perfil esférico y diámetro muy pequeño, cuya superficie específica está en el orden de $200,000 \text{ cm}^2/\text{g}$ cuando es determinada empleando las técnicas de absorción de nitrógeno. La distribución por tamaños indica partículas con diámetro promedio de 0.1 micrómetros, el cual es aproximadamente 100 veces menor que el de las partículas de cemento promedio. Así, esta alta superficie específica y el gran contenido de dióxido de sílice amorfa proporcionan excepcionales propiedades puzolánicas.

2.4.4 PROPIEDADES QUÍMICAS

Composición química: la microsílíce es un subproducto con composición química muy constante, aunque puede tener algunos cambios dependiendo de la aleación de silicio que se está produciendo y la naturaleza de las materias primas. En la composición química predomina el SiO_2 con el 90 al 96%.

La Tabla N° 2.10 proporciona la composición química de microsílíces típicas provenientes de hornos de Noruega y los Estados Unidos. La microsílíce contiene generalmente más del 90% de dióxido de silicio, la mayoría del cual está en estado amorfo. La composición química de las microsílíce varía de acuerdo al tipo de aleación que está siendo producido. Por ejemplo, la microsílíce de un horno de ferro

silicio generalmente contiene más óxidos de hierro y magnesio que aquellos provenientes de un horno que produce silicio.

Tabla N° 2.10: Rangos para la composición química de las microsílíce.

OXIDO	%
SiO ₂	90.0 - 93.0
Al ₂ O ₃	3.4 - 4.5
Fe ₂ O ₃	0.3 - 0.5
MgO	0.5 - 0.8
CaO	0.1 - 0.3
Na ₂ O	1.0 - 1.2
K ₂ O	1.3 - 3.6
C	0.1 - 0.2
S	1.4 - 3.8
C + S	0.4 - 1.3
SO	0.0 - 4.8
H ₂ O	0.5 - 0.6

FUENTE: P-C. AÍTCIN. "Tecnología del concreto de alto desempeño". Pablo Portugal Barriga

Cloruros: el contenido de cloruros soluble en ácido de microsílíce densificadas o no, se ha encontrado que varía entre 0.016 a 0.025 por masa. Las especificaciones europeas han establecido un límite superior para los cloruros en microsílíce de 0.1 a 0.3 en masa. Asumiendo un contenido de cemento de 390 kg/m³, una adición del 10% de microsílíce por masa, y un contenido de cloruros soluble en ácido de 0.20% en masa en la microsílíce, ésta deberá contribuir con 0.002% de ion cloruro por masa de cemento. En aquellos casos en que los límites de cloruros son críticos. La contribución por la microsílíce deberá ser incluida en el cálculo total

El pH de la microsílíce y de las lechadas puede ser determinado. Este ensayo puede efectuarse sobre una muestra preparada por la adición de 20 g. de microsílíce a 80 g. de agua libre de iones. Los valores típicos de una fuente de metal silicio están entre 6.0 y 7.0.

Cristalinidad: los ensayos por difracción de rayos X han mostrado que la microsílíce es esencialmente amorfa. Popovic ha observado carburo de silicio, un compuesto intermedio, que ocurre durante la producción de silicio y aleaciones de ferro silicio.

Todos los esquemas de difracción presentan un amplio doblado centrado alrededor del área donde normalmente debería encontrarse cristobalita cristalina. La ausencia de un material diferente en esta ubicación sugiere que la cristobalita no está presente en cantidades significativas.

2.4.5 REACCIÓN CON EL CONCRETO

La microsílíce, debido a su extrema finura además de su contenido de sílice, tiene un importante papel en las reacciones internas de la pasta de concreto.

Su uso se incrementó en la producción de concretos de alto desempeño en la década de los 80's y 90's.

Al ser tan pequeñas las partículas, estas actúan como un filler llenando los espacios vacíos en la pasta haciendo que el concreto tenga mayores propiedades adherentes, creando mayor compacidad a la vez que brinda más fluidez a la mezcla. Además ayuda a reducir la exudación de agua en la superficie y proporciona reducciones significativas en la permeabilidad del concreto y, al ser menos permeable, incrementa también la durabilidad del mismo.

En cuanto a la resistencia del concreto, se han determinado aumentos significativos desde 20 a 50%, obteniendo mayores beneficios con el uso de súper plastificantes. Al hacer uso de éstos los contenidos normales de microsílíce varían entre el 5% y el 15% del peso del cemento.

Si bien es cierto se necesita de aditivos superplastificantes para que la microsílíce reaccione mejor con el cemento, el uso de éstos puede aumentar la tendencia de fisuras por contracción plástica, siendo necesario cubrir la superficie expuesta del concreto evitar pérdida de agua por evaporación.

Otra de las propiedades que brinda el uso de microsílíce como adición es el incremento de la resistencia al ataque de sulfatos y cloruros, reduce casi hasta eliminar una probable reacción álcali-sílíce. Todo esto se traduce en mayor durabilidad en los elementos en los cuales se emplee esta adición y que estén sometidos a climas extremos tales como hielo-deshielo, etc.

2.4.6 COMPARACIÓN CON OTROS COMPONENTES MATERIALES CEMENTICIOS

La microsílíce es típicamente más reactiva que otras adicciones, particularmente a edades tempranas, por su alto contenido de dióxido de silicio y porque su tamaño de las partículas es mucho más fino que las del cemento. En la Tabla N° 2.11 se presentan la comparación de microsílíce con otros componentes suplementarios utilizados como materiales cementicios.

Tabla N° 2.11: Comparación de la microsílíce con otros materiales suplementarios cementicios

PROPIEDAD	CEMENTO PORTLAND	CENIZA VOLANTE CLASE F	CENIZA VOLANTE CLASE C	ESCORIA DE ALTO HORNO	MICROSÍLICE
Contenido de SiO ₂ , %	21	52	35	35	85 a 97
Contenido de Al ₂ O ₃ , %	5	23	18	12	
Contenido de Fe ₂ O ₃ , %	3	11	6	1	
Contenido de CaO, %	62	5	21	40	< 1
Finura como área superficial, m ² /kg **	370	420	420	400	15000 a 30000
Gravedad específica	3.15	2.38	2.65	2.94	2.22
Uso general en el concreto	Aglutinante Primario	Reemplazo de cemento	Reemplazo de cemento	Reemplazo de cemento	Potenciador de propiedades
** Superficie medida del área de humo de sílice por nitrógeno método de adsorción. Otro por el método de permeabilidad al aire (Blaine)					

FUENTE: Manual del uso de humo de sílice. U.S. Department of transportation, April, 2005.

2.4.7 REGLAMENTACIÓN DEL USO LA MICROSÍLICE

El uso de la microsíllice está normado por el comité 234 de ACI, el cual tiene todas las especificaciones necesarias para el correcto uso del mismo. La norma ASTM C-1240 también obliga a varios requisitos si se utiliza microsíllice en concreto, los cuales dejan saber:

- ✓ El contenido de dióxido de silicio debe ser como mínimo 85%.
- ✓ El contenido de humedad debe ser máximo 3% ya que la microsíllice trae consigo una cierta humedad
- ✓ El tamaño máximo debe ser de 45 μm para minimizar los agentes externos que puedan inmiscuirse en el humo.
- ✓ El área específica debe ser 15 m^2/g .

Consideraciones

- ✓ Debido al agua que va a aportar la microsíllice a la mezcla de concreto, se debe de tener una dosificación mínima de agua.
- ✓ También es importante que haya un poco más de aire dentro del concreto para que no haya problema alguno a la hora de verter el concreto.

- ✓ Se debe usar un agregado de tamaño grande, de 19 mm sería ideal. Además se debe utilizar la mayor cantidad de agregado grueso posible para reducir el efecto de encogimiento por secado.
- ✓ El concreto con humos de silicio es muy cohesivo y se comporta diferente a como se comporta el concreto convencional. Para que el concreto sea lo igual de trabajable se debe obtener un revenimiento de 4 a 5 cm mayor al revenimiento que se debe obtener en un concreto normal.
- ✓ Para obtener la proporción que se debe usar se debe saber a ciencia cierta para qué es que se quiere utilizar el concreto con los humos. No hay un procedimiento científico para obtener las proporciones ya que intervienen muchas variables pero si hay ciertas reglas generales a seguir.
- ✓ Se debe obtener las proporciones necesarias para proyectos similares para que el comportamiento del concreto varíe lo menos posible entre proyectos.
- ✓ Si se especifica con base en el desempeño, se deben escoger bien los materiales a utilizar puesto que estos son los que van a dar el desempeño final a la mezcla

2.4.8 REACCIÓN DE LA MICROSÍLICE CON EL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

La microsíllice interactúa con aditivos químicos de varias maneras. El ACI-234R aconseja que si se utiliza algunos de estos aditivos se debe consultar con el fabricante para obtener información específica sobre las posibles interacciones y realizar mezclas de pruebas para determinar la dosificación apropiada y verificar el rendimiento.

Debido a que la microsíllice tiene un área superficial muy alta, se deberá incrementar la demanda de agua cuando es empleada en el concreto. Los superplastificantes son usualmente recomendados para disminuir la demanda de agua a un nivel apropiado y permitir una adecuada dispersión y apropiado acomodó de las partículas de microsíllice.

La microsíllice se ha utilizado con éxito con la mayoría de los superplastificantes comúnmente disponibles: Policondensado de formaldehido y melanina sulfonatado, Policondensado de formaldehido y naftaleno sulfonatado y Policarboxilatos. Debido al tamaño pequeño de las partículas de microsíllice, las interacciones entre los superplastificantes y la microsíllice son similares a las interacciones entre el aditivo químico y las partículas de cemento.

El empleo de superplastificante en los concretos con microsíllice expone más área superficial de las partículas para la reacción puzolánica entre el ion calcio y el dióxido de silicio con un gran potencial para incrementar la producción del gel C-S-H (silicato

de calcio hidratado), posiblemente debido a la dispersión de partículas de microsílíce aglomeradas.

Rosenberg y Gaidis en 1989 mostraron evidencia física y química de la microsílíceo densificada con superplastificante el concreto en el sentido usual del término⁹; si la adherencia pasta-agregado se adhiere para producir un determinado incremento de resistencia y que dicho incremento no aparece tener efecto sobre la reducción de porosidad. La porosidad es principalmente controlada por la relación agua-material cementante, la cual puede ser disminuida por el empleo de superplastificante. Esto permite entender mejor el mecanismo por el cual se mejora las propiedades mecánicas del concreto que contiene tanto microsílíce como superplastificante sean de naturaleza física o puzolánica.

2.5 CONCRETO CON MICROSILICE EN ESTADO FRESCO

2.5.1 GENERALIDADES DE LA MICROSILICE EN EL CEMENTO FRESCO.

Cuando se utiliza microsílíce en el concreto, este va a tener una mayor cohesión y un menor sangrado (inclusive puede llegar a desaparecerlo). Esto tiene una desventaja, ya que es menos trabajable y es más difícil de colocar. Por otro lado, la cohesión hace que haya una menor segregación del concreto dando mayor eficiencia en la homogeneidad

⁹ACI 234R-06. "Guide for the Use of Silica Fume in Concrete". Capítulo 3. Pág. 16

del concreto a lo largo del elemento. Otra gran ventaja es en la aplicación del concreto lanzado, ya que este no se va a ver afectado por la segregación; además el concreto lanzado va a rebotar menos. El concreto lanzado contiene por lo general fibras de acero para mejorar la capacidad a flexión del elemento. También cabe destacar que es compatible con cualquier acelerador que se le aplique al concreto lanzado. El que tenga un menor sangrado tiene la ventaja que no hay que esperar que el agua fluya a través del concreto para aplicar los acabados que van a ser mucho mejores, además de darle más durabilidad al concreto, ya que no se forman canales por donde fluye el agua, en los cuales puede infiltrarse algún agente agresivo como cloruro.

2.5.2 REOLOGIA DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON MICROSILICE.

La reología es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de la materia, desde el punto de vista de la resistencia es necesario usar una relación agua/cementantes lo más baja posible, dado que el concreto de alta resistencia debe ser colocado y transportado con relativa facilidad usando procedimientos de construcción convencionales.

En las aplicaciones de campo, el concreto usualmente debe tener una trabajabilidad adecuada durante cerca de una hora y media. En las plantas de pre-moldeados, donde la colocación es más rápida, suele ser suficiente asegurar una alta trabajabilidad de hasta media hora.

La reología del concreto está regulada generalmente por factores físicos y químicos, entre los factores físicos están la distribución del tamaño del grano y la forma de los agregados.

En los concretos con relaciones agua/cementantes muy bajas, la distribución del tamaño del grano y distribución de las partículas de cemento también juega un papel importante en la determinación de la reología del concreto fresco. Entre los factores químicos se encuentra la reactividad inicial del cemento y los materiales cementantes suplementarios cuando está en contacto con el agua.

2.5.3 MEZCLADO

El secreto de alcanzar los beneficios adecuados del uso de la microsílíce es asegurar que la microsílíce se disperse uniformemente en toda la mezcla de concreto. Esta dispersión solo puede lograrse si el concreto es adecuadamente mezclado.

Por lo general, las mezclas tienen exceso de agua y la resistencia se vuelve inferior, entonces se debe usar un valor inferior de agua calculado, esto nuevamente debido a las características de arena que tiene la microsílíce. Además también se da que el concreto se vuelve pegajoso, esto debido a la gran cantidad de arena que hay en la mezcla. Contra esto se debe reducir en la medida de lo posible la cantidad de arena que

hay en la mezcla para evitar la pegajosidad; otra solución posible es usar aditivos que le den más fluidez a la mezcla, en nuestro caso el aditivo superplastificante.

Para lograr la mejor producción de concreto con microsilice no se debe variar mucho la manera de producir el concreto. Se debe tener en cuenta que se debe verter entre 30 y 45kg/m³ en la mezcla.

La mezcla debe tener la mayor uniformidad posible. Con respecto a uniformidad se refiere a que el aire, revenimiento, peso unitario, agregados y resistencias sean similares. Se puede comparar concreto de diferentes lados para comprobar esta uniformidad. Se debe tratar de controlar la temperatura del concreto. Pero esto no es fácil debido a la baja relación agua cemento. Sí es necesario se debe usar hielo para disminuir la temperatura.

Por consiguiente, a la hora de poner en la mezcladora, no se debe verter el cemento primero ya que si se pone en contacto con agua o mortero se podrían hacer pelotas que no se van a disolver. Por lo que se debe poner primero el agregado grueso.

Cabe recalcar que para la elaboración de concretos con microsilice se debe mezclar un poco más de lo que se acostumbra con el concreto normal, al finalizar la primera batchada se debe verificar que no queden restos de microsilice ya que estos pueden afectar la mezcla de concretos posteriores.

2.5.4 CURADO

El curado garantiza que la temperatura y el contenido de humedad sean satisfactorios en el concreto por un periodo de tiempo, el cual empieza inmediatamente después de la colocación (colado) y del acabado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas en el concreto, el curado es esencial en la producción de un concreto de excelente calidad, para los concretos convencionales, el curado con agua es necesario para garantizar el más alto grado de hidratación posible y, en consecuencia para obtener la mayor resistencia y la menor permeabilidad.

Un concreto sin curado seca más o menos rápido dependiendo de su relación agua/cementantes y nunca alcanzará su mayor resistencia ni su máxima durabilidad; el curado temprano siempre es mejor que el curado tardío y, en el caso de los concretos convencionales, un curado es mejor que ningún curado.

El concreto de alta resistencia con microsílíce necesita curarse todavía más que el concreto convencional, ya que la microsílíce nos brinda mayor calor de hidratación acelerando el proceso de evaporación, lo cual permite que en el concreto de alta resistencia pueden desarrollarse contracciones severas como:

- ✓ En estado plástico, debido al muy bajo índice de exudación del concreto de alta resistencia;

- ✓ En estado endurecido, debido a la auto-deseccación que sigue al rápido e intenso desarrollo de la hidratación del cemento;
- ✓ Al gradiente térmico creado por el desarrollo no homogéneo de la temperatura dentro de la masa de concreto durante su enfriamiento.

Por estos motivos el curado es de suma importancia en el concreto de alta resistencia con microsílíce, una de las formas más sencillas para curar este tipo de concreto es ser curado con agua durante tanto tiempo como sea posible, pero el manual del uso de microsílíce recomienda lo siguiente:

- ✓ Realizar un curado húmedo de las losas durante un mínimo de siete días.
- ✓ Utilizar aditivo como retardador de evaporación.
- ✓ Aplicación de cualquier otro compuesto de curado y nunca permitir que la microsílíce se seque hasta que el curado esté finalizado.

2.5.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El concreto en estado fresco es realmente una suspensión concentrada de partículas sólidas (agregados) en un líquido viscoso (pasta de cemento), la pasta de cemento a su vez no es un fluido homogéneo y está compuesta de partículas (granos de cemento) en

un líquido (agua). Por lo tanto el concreto en estado fresco en una escala macroscópica fluye como un líquido¹⁰.

Recientemente el uso más difundido de concretos de alta resistencia ha dado lugar a estudio de concreto con propiedades específicas entre las cuales el ACI 318 menciona algunas propiedades que son críticas para unas aplicaciones: trabajabilidad, compactación, estabilidad, consistencia, etc. Los conceptos comunes abarcan todas estas propiedades en definiciones como la facilidad con que el concreto puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado o la habilidad del concreto para fluir, etc. Pero ninguna alcanza a definir objetivamente las propiedades del concreto en estado fresco, varios intentos por definir de la mejor forma las propiedades del concreto fresco se han dado, una de las más correctas es la presentada por Richtie, el que ha dividido estas en tres principales:

- ✓ Estabilidad: Exudación y segregación
- ✓ Compactación: Densidad
- ✓ Movilidad: Ángulo de fricción interna, adherencia y viscosidad.

Estas definiciones son subjetivas pero enlazan las palabras comúnmente usadas con factores físicos que pueden ser medidos. Las pruebas usualmente realizadas al concreto en estado fresco miden intrínsecamente sus propiedades reológicas, sin embargo un

¹⁰P.-C. AÍTCIN, "Tecnología del Concreto de Alto Desempeño", Capítulo 4. Página 81, Pablo Portugal Barriga, 2004

mejor entendimiento de las propiedades del concreto en estado fresco es necesario para poder predecir su flujo.

2.5.5.1 Trabajabilidad

Encontrar una definición de trabajabilidad, es ya una idea muy subjetiva, las diferentes definiciones tratan de enlazar parámetros calificables según la perspectiva de cada evaluador como se ve en la Tabla N° 2.14, sin embargo, encontrar una definición adecuada para la trabajabilidad de los concretos de alta resistencia es necesaria, la definición propuesta por Glanville, Collins y Matthews, nos dice que: La trabajabilidad se puede definir como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación total¹¹, esta definición originada del supuesto que solo la fricción interna (esfuerzo de fluencia), es una propiedad intrínseca de la mezcla nos brinda una aproximación cuantitativa de la trabajabilidad, sin embargo define un estado ideal de compactación total la cual nunca se logrará, una corrección bastante simple a esta definición es la que a continuación se propone, la trabajabilidad se puede definir como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación adecuada de la mezcla.

¹¹P-C. AÍTCIN, “Tecnología del Concreto de Alto Desempeño”, Capítulo 4. Página 89, Pablo Portugal Barriga, 2004.

Tabla N° 2.12: Definiciones de trabajabilidad de varias instituciones.

INSTITUCIÓN	DEFINICIÓN
American Concrete Institute (ACI)	Es la propiedad del concreto o mortero en estado fresco la cual determina la facilidad y homogeneidad con la cual puede ser mezclado colocado, compactado y terminado.
British Standards Institution	Es la propiedad del concreto o mortero en estado fresco, la cual determina la facilidad con la cual puede ser manejado y completamente compactado.
Association of Concrete engineers Japan	Es la propiedad de la mezcla de concreto o mortero que determina la facilidad con que puede ser mezclado, colocado y compactado, debido a su consistencia, la homogeneidad con la cual puede ser elaborado el concreto y el grado con la cual puede resistir a la separación de los materiales.

FUENTE: Tecnología del concreto de alto desempeño Pablo Portugal Artiga.

El parámetro que será utilizado para determinar la trabajabilidad es el revenimiento del concreto.

✓ **Revenimiento**

La prueba de medición del revenimiento está regida bajo la norma ASTM C-143, aunque esta sea criticada en cuanto a su valor científico y tecnológico, se seguirá usando por más tiempo para controlar la trabajabilidad del concreto, sea este convencional o de alta resistencia (ver Figura N° 2.1).

La práctica de medición del revenimiento en el concreto convencional es relativamente fácil si se le compara con la medición del revenimiento en concreto de alta resistencia, ya que en el concreto convencional, después de unos pocos segundos el cono de concreto deja de deformarse o colapsar, y mantiene una altura estable. Además cuando

se ejecuta bien la práctica, el valor del revenimiento se puede seguir obteniendo con una variación de ± 10 mm. Pero, a diferencia del concreto convencional, en el concreto de alta resistencia, la medición del revenimiento no es tan fácil porque el cono de concreto no deja de deformarse y seguir colapsando debido a los aditivos superfluidificantes con que se elabora, entonces, es difícil decidir en qué momento se debe registrar la altura del cono que poco a poco está colapsando. Ahora bien, que para los concretos de alta resistencia fluidos, es bien común observar que el concreto se derrama por los bordes del tablero del cono estándar sobre el cual se llevó a cabo la prueba.

Figura N° 2.1: Fotografía de revenimiento



FUENTE: Guía de clases de Tecnología del Concreto, UES, 2012

✓ Factores que influyen en el revenimiento

Hay una gran cantidad de factores que afectan al revenimiento del concreto, pero desde la parte reológica, estos se pueden clasificar en dos categorías: los que se relacionan con la forma del agregado, y los que tienen que ver con el comportamiento reológico de la pasta de cemento en sí.

Los principales factores que están relacionados con el agregado y que afectan el revenimiento del concreto, son: la cantidad total de agregado grueso y fino, sus respectivas distribuciones granulométricas y las formas de las partículas de los agregados, tanto para el concreto convencional como para el de alta resistencia. El comportamiento reológico de la pasta de cemento del concreto convencional tiene que ver con la relación agua/cementantes. Cuanto mayor sea la relación, más diluidas en agua están las partículas finas, de modo que, físicamente, el agua juega un papel clave en la reología de la pasta de cemento hidratada cuando la relación agua/cementantes es alta (por ejemplo, 0.50). Con un valor de la relación agua/cementantes tan elevado, las partículas cementantes están lejos unas de otras dentro de la pasta que su interacción, no afecta particularmente el revenimiento del concreto. La cantidad de aire incluido también afecta drásticamente el revenimiento de un concreto convencional, cosa que está bien documentada.

✓ **Pérdida de revenimiento.**

No existe mucha información teórica sobre este aspecto, porque la mayoría de autores e investigadores dicen que debido a que las partículas de los materiales cementantes suplementarios son menos reactivas en el concreto fresco, su efecto reológico se limita a la parte física.

El hecho de usar materiales cementantes suplementarios (Adiciones), desde el punto de vista práctico, es adecuado para resolver los problemas que generan pérdidas de revenimiento, y estos materiales han sido utilizados desde la década de 1970 cuando comenzaban a surgir los concretos de alta resistencia.

Las únicas limitaciones que impiden utilizar materiales cementantes suplementarios (adiciones por ejemplo), y remplazar parcialmente el cemento del concreto de alta resistencia, están relacionadas con el progreso de las resistencias tempranas y la resistencia ante la abrasión provocada por el hielo y el deshielo. La durabilidad de estas mezclas ante el congelamiento y el deshielo no se ha llegado a comprobar todavía, es más, no se sabe si las pruebas para determinar la durabilidad ante el congelamiento y el deshielo son las apropiadas. También se puede utilizar una inclusión de aire para resolver el problema; ésta, no causará daño desde el punto de vista reológico, aunque resultará que se perderá algo de la resistencia.

✓ **Influencia de la microsílíce en la trabajabilidad**

La inclusión de la microsílíce mejora las propiedades reológicas del concreto, se puede mencionar las siguientes características:

- ✓ Las mezclas con adición de microsílíce presentan una cohesividad adecuada, mejorando la manipulación de la mezcla.

- ✓ Las mezclas con microsílíce presentan una menor tendencia a la segregación aun las mezclas en las que se usan granulometrías discontinuas, presentan un comportamiento homogéneo con la inclusión de la microsílíce.

- ✓ Las mezclas con adición de microsílíce no presentan exudación a diferencia de las mezclas con solo cemento en las cuales se obtienen mezclas con una alta exudación debido a la acción del tipo de aditivo. Por lo tanto se puede decir que la adición de la microsílíce reduce la exudación, pues dada su forma, tamaño y superficie específica, controlan las fuerzas que suelen producir la exudación en el concreto, además de rellenar los caminos usuales para la exudación los cuales suelen hallarse en la interface pasta agregado. Sin embargo al reducir la exudación los concretos con microsílíce deberán tener un curado adecuado para evitar las grietas por contracción por secado.

- ✓ Otra mejora de la inclusión de la microsílíce, es que dado que reduce la exudación el acabado superficial puede ser dado más pronto que en el caso de concretos sin microsílíce.

- ✓ Las mezclas con adición de microsílíce presentan un más rápido fraguado comparado con un concreto convencional, sin embargo este efecto también se debe a la influencia del aditivo superplastificante usado.

- ✓ Por la forma esférica de las partículas de microsílíce, producen un mejor acomodo en los agregados por lo cual se obtiene concretos con mayor compacidad.

2.5.5.2 Contenido de aire

- ✓ **El concreto de alta resistencia sin aire incluido**

No es esencial realizar una medición repetidamente del contenido de aire de un concreto de alta resistencia sin inclusión de aire, pero es recomendable medirlo para poder verificar la masa unitaria. Por lo general, los concretos de alta resistencia pueden atrapar del 1% al 3% de aire, ya que las mezclas suelen ser más pegajosas que las del concreto convencional, a menor relación agua/cementantes, mas pegajoso será el concreto, sin embargo, con algunas combinaciones de cemento y superplastificante, es posible elaborar concretos con una relación agua/cementantes de 0.30, donde la cantidad de aire atrapado se encuentre entre 1% y 1.5% cuando la fluidez de la mezcla se ajusta con cuidado. Pero a medida que la relación agua/cementantes baja de 0.30 se hace más difícil disminuir la cantidad de aire atrapado por debajo de 1.5% a 2%.

Se ha observado un fenómeno extraño al hacer la mezcla de algunos concretos de alta resistencia después de una sobredosificación de superplastificante cuando se utilizaba una alta cantidad de agua de mezclado. El concreto de alta resistencia se volvió muy

fluido y tendía a atrapar un gran volumen de grandes burbujas de aire, lo cual provocaba lo que se ha llamado “concreto burbujeante” o “efecto champagne”; las grandes burbujas de aire tienden a flotar fuera del concreto, pero parecen regenerarse tan fácilmente como desaparecen durante el mezclado. Cuando se coloca en los moldes, esta clase de mezcla es propensa a severa segregación y se retarda mucho. Después de endurecida, dicha mezcla contiene un alto volumen de vacíos de gran tamaño, los cuales disminuyen de forma drástica la resistencia a la compresión.

Ahora bien, cuando la preocupación más grande es la resistencia a la compresión (tal es el caso de los concretos sin aire incluido), es importante mantener la cantidad de aire atrapado tan baja como se pueda para poder evitar disminuciones en la resistencia.

2.5.5.3 Temperatura y tiempo de fraguado.

✓ Temperatura.

La temperatura es uno de los actores más importantes que influyen en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del concreto. Sin el control de la temperatura del concreto, predecir su comportamiento es muy difícil, si no imposible. Un concreto con una temperatura inicial alta, probablemente tendrá una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y más baja de lo normal a edades tardías.

La calidad final del concreto probablemente se verá también disminuida. Por el contrario, el concreto colado y curado a temperaturas bajas desarrollará su resistencia a una tasa más lenta, pero finalmente tendrá una resistencia más alta y será de mayor calidad. La temperatura del concreto se usa para indicar el tipo de curado y protección que se necesitará, así como el lapso de tiempo en que deben mantenerse el curado y la protección. Al controlar la temperatura del concreto dentro de los límites aceptables se podrán evitar problemas tanto inmediatos como futuros. Cuando hay que evaluar diferentes tipos de concreto la temperatura de las mezclas de cada concreto debe ser tan idéntica como sea posible. La temperatura del concreto afecta el comportamiento de los aditivos químicos, los aditivos inclusores de aire, los materiales puzolánicos y otros tipos de aditivos y adicicionantes.

✓ **Fraguado del concreto.**

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

La determinación de estos dos estados, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla, es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa. En resumen, puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido. Así definido, el fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada.

Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de “retardantes” del fraguado, compuestos de yeso o de anhídrido sulfúrico; de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio.

Las mezclas con adición de microsílíce presenta un rápido fraguado síse compará con un concreto convencional, este efecto también se debe a la influencia del aditivo superplastificante incluido en la mezcla.

2.6 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA CON MICROSÍLICE.

2.6.1 GENERALIDADES DE LA MICROSÍLICE Y EL CONCRETO ENDURECIDO.

La microsíllice en el concreto endurecido mejora las propiedades mecánicas del mismo además que de que se reduce la permeabilidad, lo que mejora la durabilidad de la estructura. Entre las propiedades mecánicas que se mejoran están: la capacidad de resistencia a compresión, la capacidad a flexión y el módulo de elasticidad. Entre más microsíllice se le aplique al cemento mayor será la resistencia del concreto, aunque hay que considerar que va a afectar la trabajabilidad del concreto producido. Además, el incremento de resistencia a partir de los 28 días va a ser menor en comparación con un concreto que no tiene microsíllice. El concreto con microsíllice es últimamente utilizado para columnas de edificios que van a tener grandes alturas, ya que estas van a estar muy esforzadas y la microsíllice proporcionan mayor resistencia a la compresión, haciendo al concreto más eficiente, ya que se podría reducir el tamaño de la columna y además se podría aumentar la altura del piso. También se utiliza en puentes para aumentar claros, disminuir la cantidad de vigas en un claro y reducir la altura de la sección. En cuanto a la reducción de la permeabilidad, es importante ya que reduce los ataques de agentes químicos que puedan ocasionar daños a la estructura. También pueden reducir o hasta eliminar las reacciones álcali agregado y dan una mayor resistencia a la abrasión.

2.6.2 RESISTENCIA A LA COMPRESION

2.6.2.1 Medición

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

Cuando la resistencia a la compresión excede los 60 MPa, no es tan fácil de medir de la forma adecuada, por lo tanto para medirla se debe hacer bajo la norma ASTM C-39 “Método para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”.

2.6.2.2 Resistencia a la compresión temprana del concreto de alta resistencia con microsilíce.

Los concretos de alta resistencia muestran una rápida ganancia de resistencia en las primeras edades si se le compara con los concretos de resistencias menores, pero a edades más avanzadas la diferencia no es significativa.

Se ha determinado que más rápido es el desarrollo de resistencia, en los concretos de alta resistencia, en las edades iniciales debido a un incremento en la temperatura de curado interna en el cilindro de concreto por causa de un más alto calor de hidratación y una distancia más corta entre las partículas en los concretos de alta resistencia, debido a una relación agua-cementantes menor.

La microsílíce, reacciona con los iones de calcio, sodio o potasio, formando geles de silicato de calcio hidratado(C-S-H) similares a la hidratación de la alita y belita (C_3S y C_2S) del cemento Portland.

Tanto la cohesión y resistencia de los concretos como la velocidad de formación de geles dependen de la relación agua/cementantes, del número de cationes y de la superficie específica de las nano partículas.

La acción física de éstas se manifiesta mediante el llenado de casi todos los espacios entre los componentes del concreto, debido a su tamaño. La acción química, por una alta velocidad de formación de geles, debido a la gran superficie específica presente.

Esta acción físico-química da como resultado altas resistencias del concreto a tempranas edades.

La principal contribución puzolánica de las microsílices al desarrollo de la resistencia ocurre, en temperaturas de curado normales, a temperaturas de 20 °C, entre los 3 y 28 días. Al primer día, la resistencia en compresión de los concretos con microsílíce es generalmente igual o más alta que la de los concretos de control independientemente de que si la microsílíce es empleada como un remplazo directo o como una adición. Sin embargo, a los 28 días la resistencia en compresión de los concretos con microsílíce es siempre mayor y, en algunos casos, mucho mayor.

El tipo y la dosificación del plastificante tienen influencia sobre el desarrollo inicial de resistencia. Algunos estudios de pruebas de laboratorio indican que altas resistencias iniciales pueden ser alcanzadas a 20 °C con microsílíce y altos rangos de superplastificantes, siempre que se haga una adecuada selección de los materiales y una conveniente dosificación de los mismos.

2.6.2.3 Resistencia a la compresión a largo plazo.

Cuando se realizan pruebas a compresión a especímenes curados con agua a 28 días, debe entenderse que una parte del agua de curado penetra dentro de los especímenes a través de su superficie externa y de este modo un borde más o menos grueso de concreto continua hidratándose alrededor de toda la pieza generando mayor resistencia en el espécimen. Además, en un elemento estructural la hidratación se detiene por la falta de agua, o también, debido a una humedad relativa demasiado baja en el sistema poroso.

Entonces, es obvio que la resistencia a la compresión a los 28 días de un espécimen curado con agua, no guarda ninguna relación directa con la del concreto en la estructura, y podrían ser resultados significativamente alejados de la resistencia a la compresión en la obra. No debe sorprender, entonces, que la resistencia a la compresión de los núcleos de 1 año no sea demasiado diferente a la resistencia a la compresión medida a los 28 días; y que la resistencia de este espécimen sea, casi siempre, significativamente menor que la de especímenes estándar curados en agua durante un año.

✓ **Resistencia a la compresión a largo plazo con adición de microsílíce.**

La resistencia del concreto, especialmente la resistencia a compresión, se modifica en forma muy importante si se incorpora microsílíce a la mezcla. La magnitud y porcentaje de incremento de la resistencia depende de numerosos factores, entre los cuales se encuentran los especificados en la sección 2.6.2.1 de este documento.

Como cualquier otro material suplementario, los concretos con microsílíce son más sensitivos a un secado rápido, pudiendo presentarse por ello una disminución en la resistencia final.

Ecuación de Feret Generalizada.

La fórmula propuesta hace más de 100 años por Rene Feret, ha sido varias veces modificada para su uso actual en concretos de alto desempeño, que incluyen microsílíce, u otro material adicionado al concreto, la fórmula de Feret indirectamente muestra que la máxima resistencia es obtenida cuando la porosidad inicial de la matriz es mínima, por lo cual la relación de vacíos en el volumen total de la matriz es mínima.

La ecuación 2.1 es propuesta por De Larrard muestra la fórmula para mezcla con microsílíce:

$$f_c = \frac{K_g R_c}{\left[1 + \frac{3.1 a/c}{1.4 - 0.4e^{-11 s/c}} \right]^2} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

FUENTE: Tecnología del concreto de alto desempeño Pablo Portugal Barriga.

Dónde:

a, c, s = Masas del agua, cemento y microsílíce respectivamente, por unidad de volumen de concreto fresco.

K_g = Parámetro dependiente del tipo de agregado.

R_c = Resistencia del mortero de cemento normalizada a 28 días.

La tendencia de las mezclas con microsilíce a desarrollar más rápidamente su resistencia, se debe a la interacción entre los granos de microsilíce y los productos de hidratación del cemento los cuales si bien no se combinan rápidamente (químicamente), si conforman una estructura tal que los poros capilares han sido parcialmente llenados por la microsilíce, así mismo la acción en la zona de interface agregado pasta por parte de la microsilíce evita la formación de los cristales de hidróxido de calcio tan influyentes en esta característica de las mezclas con adición de microsilíce.

Además es necesario destacar el comportamiento del tipo de cemento frente a la inclusión de microsilíce, conteniendo este cemento un porcentaje de 35% de puzolana, la adición de 45% de microsilíce, puede provocar un exceso de material puzolánico en la mezcla, sin embargo no hay ningún efecto en las mezclas de concreto tanto en sus propiedades en estado fresco, como endurecido donde el incremento de la resistencia ante la adición de la microsilíce es también importante, es de esperarse que siendo la microsilíce un material más activo que la puzolana, este se combine rápidamente, por lo cual existirá un porcentaje adicional de puzolana que reaccionara a un mayor plazo, mejorando así las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto.

La tendencia de la mezclas con más baja relación agua cemento y con adición de microsilíce desarrolla resistencias mayores que un concreto convencional a edades tempranas.

2.6.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN SIMPLE.

El módulo de ruptura es el valor obtenido mediante el procedimiento indirecto para determinar la resistencia a la tensión del concreto por el ensayo a la flexión de una viga. La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tensión del concreto, de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzado. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 in (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el módulo de ruptura y es determinada mediante los ensayos ASTM C 78 (Cargada en los puntos tercios) o ASTM C 293 (Cargada en el punto medio)

El módulo de ruptura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla. El módulo de ruptura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de ruptura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%.

El ensayo a flexión es muy poco usado para el concreto estructural por el contrario para concretos utilizados en diseño de pavimentos este ensayo es muy utilizado.

2.6.3.1 Resistencias a la flexión del concreto de alta resistencia con microsílíce.

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

Los valores informados por varios investigadores para el módulo de ruptura de peso ligero y el peso normal del concreto de alta resistencia caen en el rango de $7.5 \sqrt{f_c}$ a $12 \sqrt{f_c}$, donde ambos el módulo de ruptura y la resistencia de compresión se expresa en PSI. La ecuación 2.2 fue recomendada para la predicción de la resistencia de compresión del concreto de peso normal como medido por el módulo de ruptura M_r de la resistencia de compresión, como se muestra en las ecuaciones 2.2 y 2.3:

$$M_r = 11.7 \sqrt{f'_c} \quad (\text{PSI}) \qquad \text{Ecuación 2.2}$$

$$\text{Para: } 3000 \text{ PSI} \leq f'_c \leq 12000 \text{ PSI}$$

$$M_r = 0.94 \sqrt{f'_c} \quad (\text{MPa}) \qquad \text{Ecuación 2.3}$$

$$\text{Para: } 21 \text{MPa} \leq f'_c \leq 83 \text{MPa}$$

Donde:

M_r = Módulo de ruptura

f'_c = Resistencia a compresión del concreto

2.6 MÓDULO DE ELASTICIDAD

La resistencia del concreto no es el único criterio a tener en cuenta para el diseño y el cálculo de una estructura, pues la rigidez del mismo suele tener la misma o mayor importancia. El diagrama esfuerzo–deformación en la compresión de un concreto, suministra el factor más importante a partir del cual se deducen las ecuaciones para el cálculo de elementos de concreto reforzado: el módulo de elasticidad del concreto, que desde luego da una medida de la rigidez del material.

En el diseño, es de gran importancia conocer el módulo de elasticidad del concreto a la hora de calcular las deformaciones de los diferentes elementos que componen una determinada estructura. La determinación del módulo de elasticidad en esta investigación está regida por la norma ASTM C-469 “Método para determinar el Módulo de Elasticidad estático y coeficiente de Poisson del concreto en compresión”.

Se han establecido una relación directa entre el módulo de elasticidad del concreto y su resistencia a la compresión (a mayor resistencia mayor módulo de elasticidad), sin embargo, el módulo de elasticidad del concreto depende en gran medida de la calidad de los agregados y su proporción dentro de la mezcla. En general, se han propuesto numerosas ecuaciones, todas ellas experimentales, para obtener el valor del módulo de elasticidad, una de estas ecuaciones es la ecuación 2.4 que se muestra a

continuación, propuesta en la Norma técnica para el diseño y construcción de estructuras de concreto de El Salvador:

$$E_c = 0.14 * W_c^{1.5} \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Para: $1400 \text{ kg/m}^3 \leq W_c \leq 2500 \text{ kg/m}^3$

Dónde:

- ✓ E_c = Módulo de elasticidad del concreto en kg/cm^2 .
- ✓ W_c = Peso unitario del concreto en kg/m^3 .
- ✓ f'_c = Resistencia del concreto en kg/cm^2 .

Otra de las ecuaciones propuestas que relaciona el módulo de elasticidad con el valor de resistencia a la compresión del concreto es la ecuación 2.5, propuesta por la Norma técnica complementaria para diseño y construcción (México 1991), la cual establece que:

$$E_c = 14,000 * \sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Para concretos por $W_c \geq 2200 \text{ kg/m}^3$

Dónde:

- ✓ E_c = Módulo de elasticidad del concreto en kg/cm^2 .
- ✓ W_c = Peso unitario del concreto en kg/m^3 .
- ✓ f'_c = Resistencia del concreto en kg/cm^2 .

CAPITULO 3: *TRABAJO EXPERIMENTAL Y ESPECIFICACIONES A UTILIZAR*

3.1 INTRODUCCIÓN

En la sección que se presenta a continuación se detalla el trabajo experimental en laboratorio y como también las especificaciones a utilizar. Para empezar se detallan los parámetros fijos y variables, en ellos; se observan qué parámetros tienen un cambio significativo en el diseño de la mezcla de concreto.

Luego se describe la metodología del trabajo experimental en laboratorio, esta parte contiene la descripción de la mezcla de concreto de alta resistencia que se haga, por ejemplo se detalla la resistencia mínima a la compresión a la que se quiere llegar (500 kg/cm^2), con esto se realizará un diseño solamente con agua, cemento, agregado fino, agregado grueso, aditivo superplastificante y sin la adición de microsílíce, a la cual se denominará con el nombre de mezcla patrón. Además de esta mezcla patrón se reproducirán mezclas las cuales constaran del mismo diseño de la mezcla patrón pero se le adicionará diferentes porcentajes de microsílíce.

Después se detalla la estructura de investigación, en la que se encuentra una serie de fases con las cuales se hará la ejecución de la investigación, dentro de ellas se encuentran los pasos, especificaciones, normas, con las cuales se realizará. Por último se presentan los requisitos que debe de cumplir el concreto y su vez sus componentes, también se detalla la información de la simbolización de los especímenes para los ensayos.

3.2 GENERALIDADES

En el siguiente trabajo de investigación, en el cual se busca conocer cómo influye la microsílíce en las propiedades del concreto tanto en estado fresco y endurecido. Primeramente se diseñara una mezcla patrón en la cual se buscará una trabajabilidad que se encuentre entre el rango de 8 a 11 pulgadas, seguidamente a la mezcla patrón se le adicionaran diferentes porcentajes de microsílíce, dichos porcentajes estarán en función de la cantidad en peso de cemento a agregar a la mezcla patrón.

La mezcla patrón estará compuesta únicamente por cemento, agregado grueso (grava), agregado fino (arena), agua y aditivo superplastificante. El cemento será Portland tipo I ya que este tipo de cemento está compuesto únicamente de Clinker y Yeso en pocas palabras es un cemento sin adiciones, el agregado grueso será “grava triturada” (Grava # 89), que deberá cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 33-03, en tanto el agregado fino es “Arena natural” y que también deberá cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 33- 03, el agua a utilizar se tomará de la red que abastece al laboratorio en donde se realizará la investigación, el aditivo a utilizar será reductor de agua de alto rango superplastificante, la mezcla patrón se espera que cumplan con una resistencia mínima de 500 kg/cm^2 a los 28 días.

A continuación a partir de la mezcla patrón se procederá a adicionar los diferentes porcentajes de microsílíce con los cuales se verificará el comportamiento de estas en el concreto en estado fresco y endurecido.

A los agregados y al cemento se le realizaran las pruebas de laboratorio que sean necesarias para el diseño de la mezcla, con el fin de que los resultados obtenidos servirán para el proporcionamiento de la mezcla patrón, la dosificación de aditivo será la que logre una trabajabilidad de 8 a 11 pulgadas y que la mezcla cumpla con ser cohesiva, el diseño se elaborará según la metodología propuesta por el Comité ACI 211.4R-93.

3.3 PARAMETROS FIJOS Y VARIABLES

3.3.1 PARAMETROS FIJOS

En este trabajo de graduación se precisará los diferentes parámetros fijos en los cuales se asumirá que no tendrán cambios significativos que afecten la realización de las diferentes fases de la investigación. Dichos parámetros se detallan a continuación.

✓ **Condiciones de laboratorio**

La elaboración de las cuatro mezclas y las pruebas al concreto en estado fresco y endurecido se realizarán en Laboratorio de Suelos y Materiales “Mario Ángel Guzmán Urbina” de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador (UES); las pruebas de laboratorio a las cuatro mezclas serán efectuadas por los realizadores de esta investigación y con asesoría de los docentes directores del presente trabajo de graduación, ésta es una las causas por las cuales se realizará la investigación en dicho laboratorio porque así se obtendrá la mayor asesoría posible.

✓ **Agregados para el concreto**

El agregado fino que se utilizará en las cuatro mezclas de la presente investigación es arena natural (de río), que procederá de la misma cantera (ver sección 3.5.1); el agregado grueso será grava triturada que es obtenida de fragmentos de roca limpia, dura, resistente y durable, ésta tendrá un tamaño máximo nominal (TMN) de 3/8” y será de una misma cantera (ver sección 3.5.1)

✓ **Cemento**

El cemento que se utilizará es de origen local, del tipo de cemento Portland Tipo I, elaborado con base en la norma ASTM C-150, según los fabricantes, el cual es elaborado únicamente de Clinker y Yeso. Este tipo de cemento alcanza resistencias superiores de 5000 psi a 28 días.

✓ **Agua**

En la presente investigación el agua que se utilizará para la realización de las diferentes mezclas será agua potable proveniente de la red pública de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados), la cual abastece al Laboratorio en donde realizaremos las pruebas. La norma ASTM C-1602 (ver Tablas N° 2.6 y 2.7), indica los requisitos de calidad del agua para la elaboración de concretos de calidad.

✓ **Aditivo reductor de agua de alto rango superplastificante**

El tipo de aditivo que se utilizará para la elaboración de las cuatro mezclas de concreto es un aditivo que pertenece a la familia de aditivos superplastificantes, el cual no tiene cloruros adicionados en su formulación y es compatible con agentes inclusores de aire, impermeabilizantes, cloruro de calcio y muchos otros aditivos.

Para la elaboración de las cuatro mezclas de concreto se tomara una tasa de dosificación de aditivo que este dentro del rango especificado en la hoja técnica del producto, en la investigación se tomará la cantidad de 800 ml de aditivo por cada 100 kg de cemento con el cual se pretende que la mezcla patrón alcance la trabajabilidad de 8 a 11 pulgadas establecida anteriormente.

✓ **Método de proporcionamiento de las mezclas**

Las proporciones de los componentes de la mezcla patrón se obtendrán mediante la metodología propuesta por el Comité ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones de concreto de alta resistencia con cemento portland”

✓ **Resistencias a la compresión en estudio.**

La resistencia a la compresión en estudio para la elaboración de las mezclas se fijará de acuerdo al rango de resistencias que corresponden a concretos de alta resistencia del tipo I (ver sección 2.2.4), esta será la siguiente: 500 kg/cm^2 , la que servirán para el proporcionamiento y diseño de la mezcla patrón.

3.3.2 PARAMETROS VARIABLES

Los parámetros variables son aquellos en los cuales los realizadores de esta investigación no tendrán control sobre ellos y que pueden variar significativamente ya sea por factores climatológicos y lo que puede generar la adición de microsílíce a la mezcla patrón, dichos parámetros se detallan a continuación.

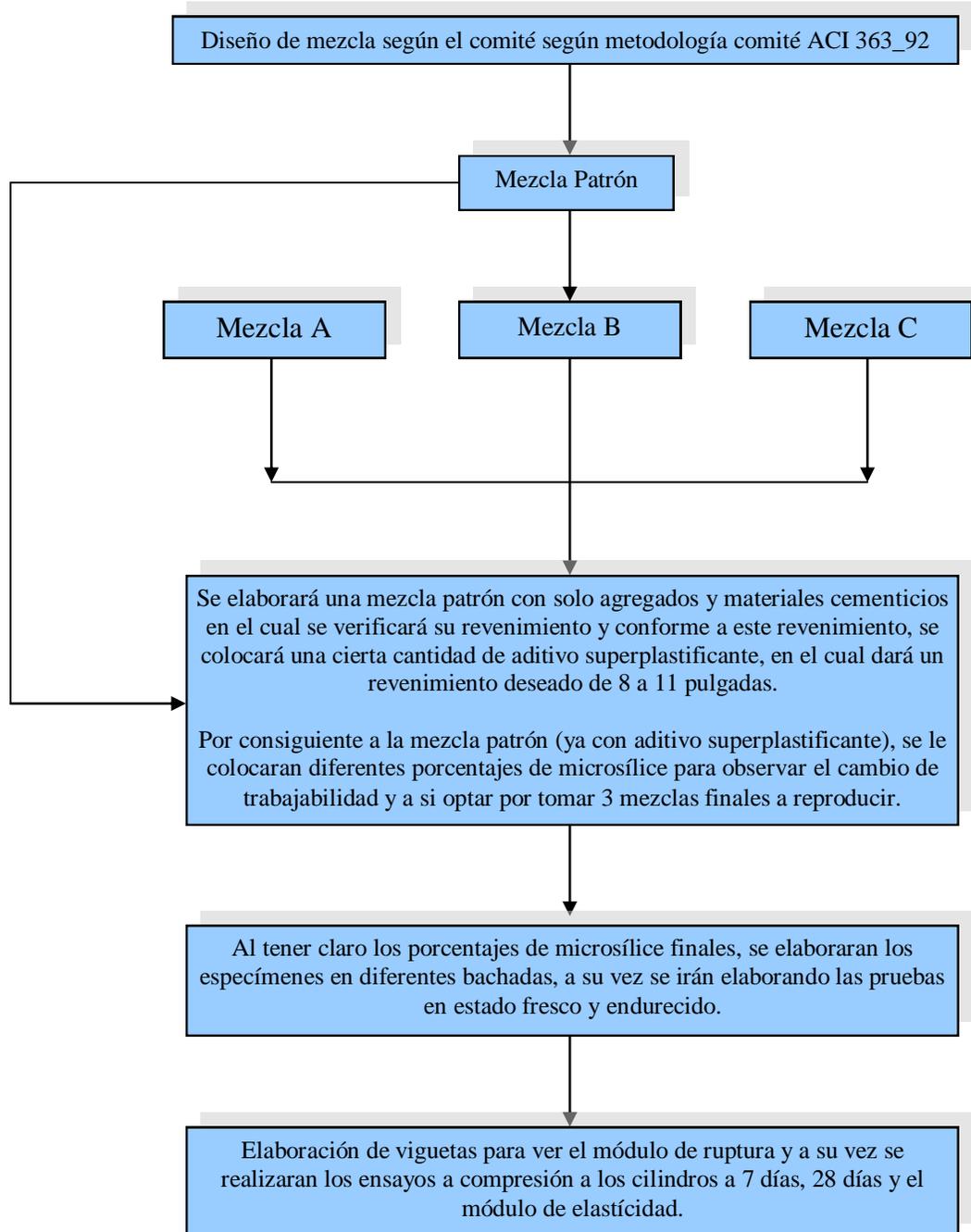
- ✓ Temperatura del concreto durante la realización de cada una de las mezclas
- ✓ Contenido de humedad de los agregados
- ✓ Tiempo de fraguado de las mezclas de concreto de alta resistencia con diferente dosificación de microsílíce.
- ✓ Contenido de aire debido a que no se sabe con exactitud cuánto reducirá o aumentará debido a la influencia de la microsílíce.
- ✓ Revenimiento del concreto ya que con la adición de microsílíce no se sabe el comportamiento que se tendrá.

3.4 METODOLOGIA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL EN LABORATORIO

Debido a que la resistencia de diseño que se quiere obtener a la compresión a los 28 días, es de 500 kg/cm^2 , se elaborará una mezcla patrón que solo llevará cemento, agua, agregados y el aditivo superplastificante para tener una base, ésta mezcla será

denominada por la letra P de patrón, teniendo dicha mezcla patrón se procederá a realizar mezclas de pruebas las cuales consistirán en agregar ciertos porcentajes de microsílíce para ver su comportamiento. Luego de eso se reproducirán 3 mezclas las cuales serán el resultado de las pruebas previas, de tal manera que se contará con una población de especímenes los que se ensayarán a las edades de 7 y 28 días. La simbología de cada mezcla estará compuesta por la letra que identifica el porcentaje de adicción (A, B, C), y un número correlativo que identifique la cantidad de especímenes (1-30 ó 1-45) y un número que identifique la edad a ser ensayado (7-28 días). Ver Figura N° 3.1.

Figura N° 3.1: Actividades a realizar para elaborar las diferentes mezclas con variaciones de porcentajes de adición de microsílíce.



Como se mencionó, los componentes de la mezcla patrón serán agregados, agua, cemento y aditivo superplastificante; las propiedades físicas en cada una de las batchadas serán las mismas, de este modo, la variable a tomar en cuenta en la investigación será únicamente la variación del porcentaje de microsílíce a colocar en cada mezcla.

La dosificación de aditivo reductor de agua de alto rango superplastificante a colocar como ya se dijo será constante para cada batchada y será de 800 mililitros por cada 100 kilogramos de cemento.

El procedimiento de diseño de la mezcla iniciará con el estudio de las propiedades de los agregados, para poder verificar si son aptos para poder utilizarse en la elaboración de la mezcla patrón; después se realizará el cálculo teórico experimental para el diseño de la mezcla y así elaborar el diseño definitivo de dicha mezcla y seguidamente adicionar la microsílíce en los porcentajes resultantes de la pruebas preliminares. Antes de la elaboración de cada mezcla, se realizará un muestreo de los agregados para conocer su contenido de humedad y hacer las correcciones por humedad y absorción a cada mezcla.

A las cuatro mezclas que se reproducirán se le medirán los parámetros siguientes, en estado fresco: temperatura (ASTM C-1064), contenido de aire (ASTM C-231), revenimiento del concreto de cada mezcla para conocer como varía la trabajabilidad respecto a la mezcla patrón (ASTM C-143), tiempo de fraguado del concreto (ASTM C-403); para el concreto endurecido se estudiará la resistencia a la compresión

en cilindros (ASTM C-39), el módulo de elasticidad (ASTM C-469) y resistencia a la flexión de las vigas de concreto (ASTM C78). Para así poder determinar que las mezclas cumplan con la resistencia requerida y poder observar la influencia de la microsílíce en estado fresco como endurecido.

La resistencia a la compresión será medida en cilindros de 4 pulgadas de diámetro y 8 pulgadas de altura debido a su tamaño máximo nominal, mientras que el módulo de elasticidad se medirá en cilindros de 6 pulgadas de diámetro y 12 pulgadas de altura y el módulo de ruptura será en viguetas de 0.15 x 0.15 x 0.60 m. El curado de todos los especímenes será según lo establecido en la norma ASTM C-192 hasta el día en que se realizarán los ensayos.

3.5 ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de graduación en su objetivo principal es determinar la influencia de la microsílíce en el concreto tanto en estado fresco como endurecido y pretende determinar las siguientes correlaciones.

- ✓ La variación de los porcentajes de microsílíce en la resistencia a la compresión.
- ✓ El revenimiento conforme la cantidad de microsílíce va en aumento.
- ✓ El contenido de aire y el peso volumétrico con la adición de microsílíce.
- ✓ El tiempo de fraguado conforme la variación de la microsílíce.

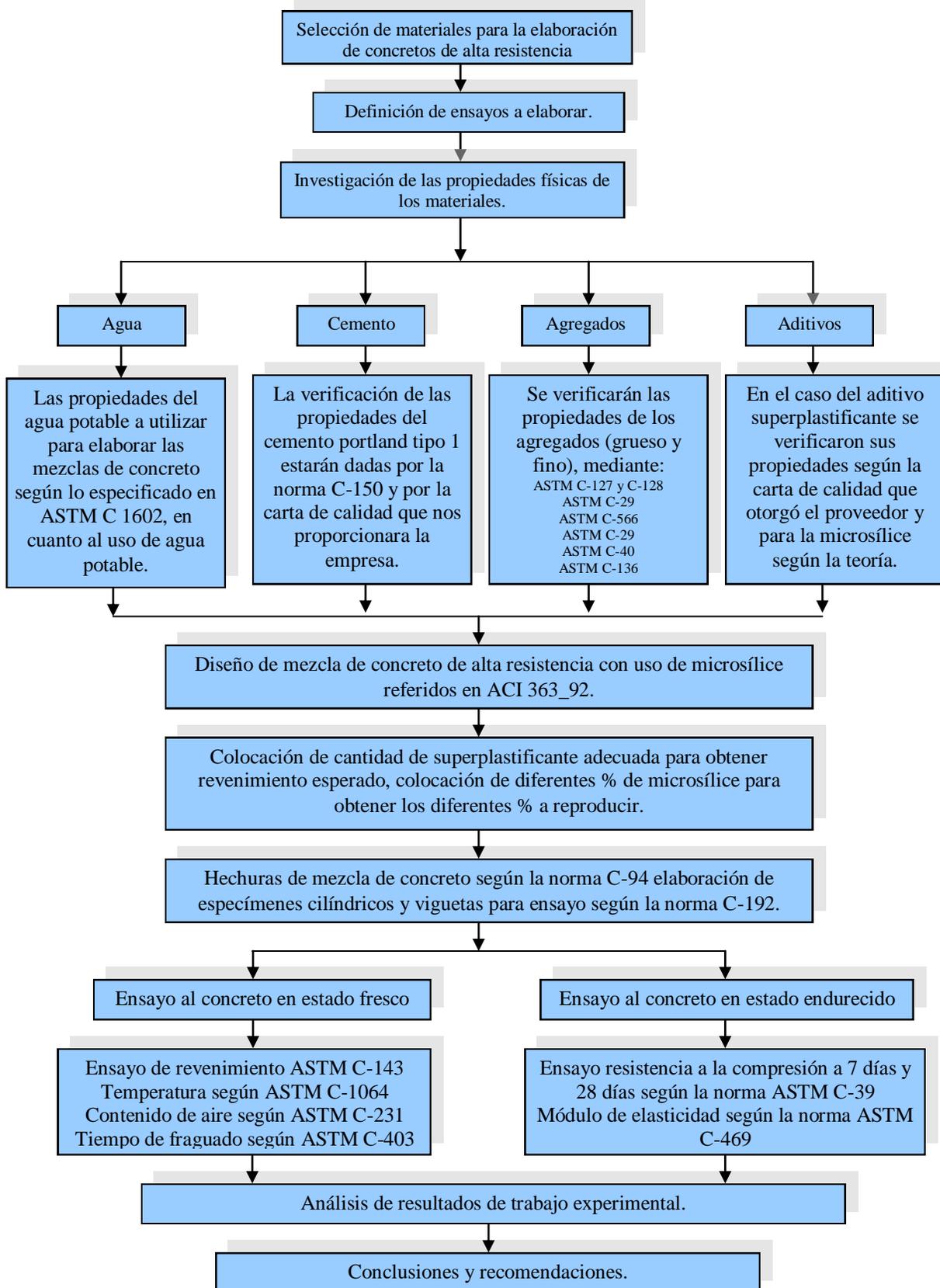
- ✓ El módulo de elasticidad y módulo de ruptura con la adición de microsílíce respecto a la mezcla patrón.

3.5.1 EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Aquí se define las diferentes fases por cuales se seguirá la investigación y así poder tener resultados satisfactorios, la metodología se describe de la siguiente manera verFigura N° 3.2:

- ✓ FASE 1: Selección de los materiales.
- ✓ FASE 2: Definición de los ensayos a realizar.
- ✓ FASE 3: Investigación de las propiedades de los materiales.
- ✓ FASE 4: Diseño de mezcla patrón.
- ✓ FASE 5: Diseño de mezcla de concreto con microsílíce
- ✓ FASE 6: Hechura de las cuatro mezclas definitivas, elaboración de especímenes y ensayo al concreto en estado fresco.
- ✓ FASE 7: Ensayos al concreto endurecido.
- ✓ FASE 8: Análisis de resultados

Figura N° 3.2: Secuencia a seguir en el trabajo de investigación.



3.5.1.1 Fase 1: Selección de los Materiales

✓ Agregados

Como ya se mencionó anteriormente el agregado grueso proviene de un proceso de trituración y el agregado fino proviene de un proceso natural, cabe recalcar que los agregados provienen de la misma cantera, la cual se encuentra en las reservas de material de la empresa Holcim El Salvador, S.A. de C.V. división de Holcim Concretos, S.A. de C.V. (Plantel Central) para la producción de concreto, “Plantel Comalapa”, La Paz, que está ubicada en el Km 42 ½ de la carretera antigua a Zacatecoluca.

Como en la mayoría de canteras existe un laboratorio de materiales, el cual tiene que realizar los ensayos correspondientes a los agregados, con esto se verifica la calidad de los mismos, como también se garantiza que cumplan con las especificaciones correspondientes. Entre algunos parámetros que el laboratorio de materiales de la empresa Holcim especifica se muestran en la Tabla N° 3.1

**Tabla N° 3.1: Características de los agregados producidos en la Cantera Holcim
“Plantel Comalapa”**

CARACTERISTICA	VALOR
Pasante del Tamiz # 200	Arena natural: 1% - 1.5% Arena triturada: 1.5%
Contenido de orgánicos (según carta de colores)	Arena natural: 1 – 2 Arena triturada: menor de 1
Gravedad Especifica	Arena natural: 2.45 Arena triturada: 2.55 - 2.60 Grava: 2.60
Absorción	Arena natural: 2.50% - 5.00% Arena triturada: 2.00% - 2.50% Grava: 2.00% - 4.00%

FUENTE: Datos proporcionados por el laboratorio de control de calidad de la Cantera Holcim “Plantel Comalapa”

✓ **Cemento**

El cemento para ser utilizado en concretos de alta resistencia se debe elegir con características particulares para poder ser utilizado, como ya se especificó en el capítulo 2 sección 2.3.1.2 de este documento, el tipo de cemento que se utilizará es Portland tipo I (según ASTM C-150). Ya que este tipo de cemento tiene esas características que necesitan los concretos de alta resistencia.

✓ **Aditivo superplastificante**

Para la selección del aditivo, se observa que se necesita un revenimiento alto para poder utilizar la microsílíce. Una solución para este problema son los aditivos reductores de agua de alto rango del tipo superplastificante, el que se utilizará en la investigación será el que tiene base de naftaleno sulfonato que cumpla con los requerimientos de la norma

ASTM C-494. En el anexo 1 se presenta una hoja técnica del producto, la cual asegura que el producto cumple con la norma ASTM C-494.

✓ **Microsílice**

La microsíllice que se utilizará es del tipo densificada y debe tener una superficie específica alrededor de 200,000 cm²/g.

✓ **Agua**

La selección del agua se debe hacer según lo especificado en la sección 3.3.1 de este documento y la cual especifica que debe de ser potable.

3.5.1.2 Fase 2: Definición de Ensayos a Realizar

A las mezclas de concreto de alta resistencia con microsíllice se le realizarán ensayos de laboratorio que serán regidos bajo las normas americanas ASTM (Sociedad Americana para Ensayos de Materiales, por sus siglas en ingles); los ensayos que se le realizarán se dividirán en dos grupos los cuales estarán conformados por ensayos al concreto en estado fresco y en estado endurecido; en el primer grupo se tienen los siguientes ensayos: ensayo de revenimiento, temperatura al concreto, contenido de aire y tiempo de

fraguado; en el segundo grupo se realizarán los siguientes ensayos: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y determinación del módulo de elasticidad.

En la Tabla N° 3.2 se muestra los dos grupos de ensayos con sus respectivas normas a utilizar.

Tabla N° 3.2: Ensayos a realizar al concreto en esta investigación

ESTADO DEL CONCRETO	PRUEBAS DE LABORATORIO	NORMA
Fresco	Revenimiento de concreto de cemento hidráulico	ASTM C-143
	Temperatura de concreto de cemento hidráulico	ASTM C-1064
	Contenido de aire del concreto	ASTM C-231
	Tiempo de fraguado del concreto	ASTM C-403
Endurecido	Determinación de esfuerzos a compresión en cilindros de concreto	ASTM C-39
	Método para determinar el Módulo de Elasticidad estático y coeficiente de Poisson del concreto en Compresión	ASTM C-469
	Resistencia a la flexión de las vigas de concreto	ASTM C78

FUENTE: Los autores

3.5.1.3 Fase 3: Investigación de las Propiedades de los Materiales

La investigación de las propiedades de los materiales es muy importante, ya que algunos de ellos influyen a la hora del cálculo de las proporciones de la mezcla, en el caso de los agregados (grava y arena) se le realizarán pruebas de laboratorio para un análisis de las propiedades físicas por medio de: gravedad específica, absorción, contenido de humedad, pesos volumétricos (suelos y varillados). Además de estas pruebas se

realizarán impurezas orgánicas (solamente a la arena) y análisis granulométrico para verificar la calidad de los agregados.

Los ensayos que se realizarán a los agregados se presentan en la Tabla N° 3.3 esto para verificar su calidad.

Tabla N° 3.3: Ensayos a realizar a los agregados en esta investigación

PRUEBA	NORMA
Muestreo de agregados	ASTM D-75
Reducción a tamaño de prueba	ASTM C-702
Análisis granulométrico	ASTM C-136
Impurezas orgánicas	ASTM C-40
Gravedad específica y absorción	ASTM C-127 (agregado grueso) ASTM C-128 (agregado fino)
Contenido de humedad	ASTM C-566
Peso volumétrico	ASTM C-29

FUENTE: Los autores

Para la calidad del cemento se realizará el ensayo de laboratorio de gravedad específica del cemento por medio de la norma ASTM C-188.

El aditivo superplastificante solamente se respalda por medio de la hoja técnica que se proporcionó por el proveedor y que se presenta en el Anexo 1 de este documento.

3.5.1.4 Fase 4: Diseño de Mezcla

Para el diseño de la mezcla patrón se realizará primeramente sin aditivo superplastificante, esto con el fin de buscar un revenimiento de 2 pulgadas, luego a dicho diseño se adicionará el aditivo buscando un revenimiento de 8 a 11 pulgadas, y así poder verificar la resistencia con la que se diseñará.

El diseño de la mezcla se realizará por medio de lo establecido por el Comité ACI 211.4, el cual se podrá observar todo el proceso en el siguiente capítulo de este documento.

3.5.1.5 Fase 5: Diseño de Mezclas con Microsílice

Con el diseño establecido en la fase anterior, se le adicionará tres porcentajes de microsílíce, esto con el fin de observar la influencia de los diferentes porcentajes de microsílíce en el concreto de alta resistencia.

3.5.1.6 Fase 6: Hechura de Mezcla de Concreto, Elaboración de Especímenes y Ensayos al Concreto en Estado Fresco.

✓ Hechura de la mezcla de concreto en laboratorio y elaboración de especímenes (cilindros y viguetas) de ensayo

Para la hechura del concreto en laboratorio, se realizará por medio de lo indicado por la norma ASTM C-192 “Práctica estándar para la elaboración y curado en laboratorio de especímenes de concreto para ensayo”; con esto para garantizar una buena mezcla de concreto.

✓ Prueba de revenimiento

La prueba de revenimiento se regirá por medio de lo establecido por la norma ASTM C-143 “Método estándar de ensayo para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”; esta prueba dependerá en la investigación del porcentaje de microsílíce que se le agregue a la mezcla de concreto.

✓ **Fabricación, curado y almacenamiento de especímenes de concreto elaborados en laboratorio**

La fabricación y curado de especímenes de concreto en laboratorio se encuentra dentro de la norma ASTM C 192 “Práctica estándar para elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo”; dentro de esta norma se encuentra el procedimiento para la preparación de materiales, mezclado de concreto.

✓ **Ensayo de temperatura**

El ensayo de temperatura es muy importante, ya que en un concreto sí la temperatura se eleva a más de 32 °C, podría generar en la superficie agrietamiento por secado, el cual genera a su vez esfuerzos indeseables en la masa del concreto. Para evitar esto se debe llevar a cabo el ensayo según la norma ASTM C 1064 “Método estándar de ensayo para temperatura de concreto de cemento portland recién mezclado”, la cual determina el procedimiento para la toma de temperatura del concreto recién mezclado.

✓ **Ensayo de contenido de aire del concreto**

El ensayo del contenido de aire determina el volumen de aire en el concreto fresco, ya sea en el espacio de poros en los agregados o en la pasta de cemento. El procedimiento a seguir se determina en la norma ASTM C-231 “Método estándar para determinar el

contenido de aire del concreto fresco por el método de presión”, este se puede realizar en campo y laboratorio de todos los tipos de concreto, exceptuando aquellos elaborados con agregados ligeros y sumamente porosos.

✓ **Ensayo de tiempo de fraguado del concreto**

El ensayo de tiempo de fraguado es muy importante, ya que en cualquier elemento de concreto en la construcción tiene unas fases bien determinadas y que llevan un periodo de tiempo considerable ejecutarlas y estas se deben de llevar a cabo antes de que el concreto comience a fraguar, para llevar a cabo el ensayo del tiempo de fraguado se sigue por medio de la norma ASTM C-403 “Método estándar de ensayo para determinar el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencias a la penetración”.

3.5.1.7 Fase 7: Ensayos al Concreto Endurecido

Los ensayos al concreto en estado endurecido que se le realizarán al concreto con microsílíce se definieron anteriormente (ver Tabla N° 3.1 en este documento), estos ensayos se realizarán con el fin de determinar la influencia de la microsílíce al concreto de alta resistencia.

✓ **Resistencia del concreto a la compresión**

El ensayo para determinar la resistencia a compresión en especímenes cilíndricos se encuentra en la norma ASTM C-39 “Método estándar de ensayo para esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto”, en esta norma se especifica todo lo necesario para determinar la resistencia a compresión.

✓ **Determinación del módulo de elasticidad**

La norma ASTM C-469 “Método para determinar el Módulo de Elasticidad estático y coeficiente de Poisson del concreto en Compresión”, ésta norma especifica el procedimiento para determinar el módulo de elasticidad en el concreto por medio de compresión.

✓ **Determinación de la resistencia a flexión**

El procedimiento a seguir para realizar el ensayo a flexión de viguetas se encuentra en la norma ASTM C-78 “Resistencia a la flexión de las vigas de concreto”.

3.5.1.8 Fase 8: Análisis de Resultados

Con todos los ensayos finalizados y con sus respectivos resultados, lo que sigue es hacer los análisis de los resultados obtenidos y así tener las correlaciones buscadas.

3.6 REQUISITOS DEL CONCRETO Y SUS COMPONENTES.

3.6.1 REQUISITO DEL CEMENTO

Los requisitos indispensables que debe de tener el cemento que se utilizará en esta investigación estarán sujetos por la norma ASTM C-150, para el cemento Portland Tipo I, como se especifica en la sección 2.3.1.3 de este documento.

3.6.2 REQUISITOS DEL AGREGADO FINO

Los requisitos del agregado fino (arena) están especificados en la sección 2.3.2.2 de este documento, en esta investigación las especificaciones a utilizar para elaborar concreto se encuentran en la Tabla N° 3.4.

Tabla N° 3.4: Especificaciones de agregado fino para elaborar concreto

PRUEBA DE LABORATORIO	REQUISITOS
Análisis granulométrico	ASTM C-33
Gravedad específica y absorción	$2.4 < G_s < 2.9$ Abs% $< 6.0\%$
Impurezas orgánicas	Color estándar 3 Máximo

FUENTE: Curso “Fundamentos de tecnología del concreto” ISCYC (2006)

3.6.3 REQUISITOS DEL AGREGADO GRUESO

Los requisitos del agregado grueso (grava) se encuentran ubicados en la sección 2.3.2.1 de este documento. Las especificaciones a utilizar en esta investigación se encuentran en la Tabla N° 3.5 la cual se presenta a continuación:

Tabla N° 3.5: Calidad de los agregados gruesos (especificaciones).

ENSAYOS DE LABORATORIO	REQUISITOS
Análisis Granulométrico	Según ASTM C 33
Peso Unitario	1260-1750 kg/m ³
Gravedad específica y absorción	$2.4 < G_s < 2.9$ Abs% $< 4\%$

FUENTE: Curso “Fundamentos de tecnología del concreto” ISCYC (2006)

3.6.4 REQUISITOS DEL AGUA

Los requisitos para el agua están presentes en la sección 2.3.3 de este documento, pero el agua a utilizar es de uso doméstico y es proporcionada por ANDA, la cual no presenta olor, sabor, ni color y además cuenta con antecedentes en la fabricación del concreto con buenos resultados, por lo tanto no se presenta la necesidad de realizar pruebas para verificar la calidad de ésta.

3.7 SIMBOLIZACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PARA ENSAYO.

Como ya se definió en la sección 3.4 de este documento, la simbolización de los especímenes queda definido dependiendo a qué tipo de mezcla pertenece, como puede ser mezcla patrón (esta mezcla no contiene microsílíce) o puede contener cualquier porcentaje de microsílíce. Así la simbolización de los especímenes queda determinada por una letra (A, B , C , P), que indica el nombre de la mezcla o el porcentaje de microsílíce a colocar y sucesivamente por un número el cual estará después de un guion, el número estará comprendido entre 1 y 30 o 1 y 45, el cual indica el número de espécimen, luego sigue un guion y el número 7 o 28 el cual indica la edad a ensayar, cabe recalcar que se ensayaran 30 especímenes a los 7 días y 45 a los 28 días.

Respecto a las viguetas la simbología es similar, una letra (A, B, C, P) determina la mezcla o cantidad de microsílíce a colocar, seguida de un guion y un número comprendido entre 1 y 4 luego por un guion y número 28 que representa la edad a ensayar. Cabe mencionar que se ensayaran las 4 viguetas a los 28 días de cada mezcla. En la Tabla N° 3.6 y Tabla N° 3.7 se presenta la simbolización que se utilizara para evaluar las características en estado endurecido de cada una de las mezclas de concreto.

Tabla N° 3.6: Simbolización de especímenes para ensayo de resistencia a la compresión

SIMBOLOGÍA	N° CORRELATIVO DE ESPÉCIMEN	EDAD A ENSAYAR (DÍA)	EJEMPLO
P	1-30, 1-45	7,28	A-15-7
A	1-30, 1-45	7,28	
B	1-30, 1-45	7,28	
C	1-30, 1-45	7,28	

FUENTE: Los autores.

Tabla N° 3.7: Simbolización de especímenes para ensayo de resistencia a flexión

SIMBOLOGÍA	NO CORRELATIVO DE ESPÉCIMEN	EDAD A ENSAYAR (DÍA)	EJEMPLO
P	1-4	28	B-4-28
A	1-4	28	
B	1-4	28	
C	1-4	28	

FUENTE: Los autores.

CAPITULO 4: PRODUCCIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

4.1 INTRODUCCION

En el presente capítulo del trabajo de investigación damos a conocer los diferentes resultados que se obtuvieron al realizar los ensayos a algunos componentes de las mezclas de concreto (grava, arena y cemento). Esto con el objetivo de conocer las propiedades de cada componente ya que son necesarios para realizar cualquier diseño y que además se utilicen para conocer si los agregados cumplen con los requerimientos exigidos para el tipo de concreto a elaborar; los resultados que a continuación se presentan son: impurezas orgánicas, análisis granulométrico tanto para agregado grueso y agregado fino, gravedad específica tanto para agregado grueso y agregado fino, peso volumétrico varillado y suelto tanto para el agregado grueso y agregado fino, y gravedad específica del cemento.

Además se presenta el cálculo experimental y los diferentes pasos que se deben de seguir para realizar el diseño de la mezcla patrón todo estos pasos se han establecido según el procedimiento proporcionado por el comité ACI 211.4R-93, seguidamente se aplican los diferentes pasos para el diseño de la mezcla patrón.

Se presentan los diferentes porcentajes de microsílíce a agregar a la mezcla patrón los cuales se detallan más a profundidad en el presente capítulo.

4.2 RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA.

Para poder verificar las propiedades de los materiales utilizados en esta investigación se realizaron los ensayos que se presentan en la Tabla N° 4.1

Tabla N° 4.1: Resultados de los ensayos realizados a los materiales para el diseño de las cuatro mezclas de concreto.

ENSAYO DE LABORATORIO	NORMA USADA	RESULTADOS	REQUISITO	REFERENCIA
Impurezas orgánicas	ASTM C 40	Menor que 1	Menor o igual a 3	Tabla N° 4.2
Granulometría Agregado Grueso	ASTM C 136	Grava # 89 según ASTM C 33	Según ASTM C 33	Tabla N° 4.3 y Tabla N° 4.4 (Figuras N° 4.1 y 4.2)
Granulometría Agregado Fino	ASTM C 136	$MF_{PROM} = 3.04$	Según ASTM C 33 $2.9 < MF < 3.1$	Tabla N° 4.5 y Tabla N° 4.6 (Figuras N° 4.3 y 4.4)
Gravedad Especifica y Absorción Agregado Grueso	ASTM C 127	$G_{SSS} = 2.65$ $\% Abs = 3.6\%$	$2.4 < G_s < 2.9$ $\% Abs < 4\%$	Tabla N° 4.7
Gravedad Especifica y Absorción Agregado Fino	ASTM C 128	$G_{SSS} = 2.48$ $\% Abs = 5.4\%$	$2.4 < G_s < 2.9$ $\% Abs < 6\%$	Tabla N° 4.8
Peso Volumétrico varillado y suelto para Agregado Grueso	ASTM C 29	$PVS = 1360 \text{ kg/m}^3$ $PVV = 1450 \text{ kg/m}^3$	PVS 1260- 1750 kg/m^3	Tabla N° 4.10 y Tabla N° 4.11
Peso Volumétrico varillado y suelto para Agregado Fino	ASTM C 29	$PVS = 1430 \text{ kg/m}^3$ $PVV = 1580 \text{ kg/m}^3$	--	Tabla N° 4.12 y Tabla N° 4.13
Gravedad Especifica del Cemento	ASTM C 188	$G_s = 3.11$	--	Tabla N° 4.9

FUENTE: Los autores.

Los resultados expresados en la Tabla N° 4.1 nos reflejan que las características de los materiales son adecuados para elaborar concretos de alta resistencia según lo

especificado en la sección 2.3 de este documento. A continuación se muestran los resultados de los ensayos realizados.

Tabla N° 4.2: Resultado del ensayo de impurezas orgánicas al agregado fino.

Muestra No	1	2	3
Ensayo No	1	2	3
Recipiente No	1	2	3
Peso de muestra de ensayo (g)	209.50	209.40	209.30
% de soda Caustica en la solución	3.00	3.00	3.00
Volumen de muestra (ml)	4.50	4.50	4.50
Volumen de muestra + solución (ml)	7.00	7.00	7.00

COLOR	DESCRIPCION	OBTENIDA EN RECIPIENTES
	Arena limpia	1, 2 y 3
	Arena poco contaminada	
	Arena que necesita lavarse	
	Arena con mucha materia organica	
	Arena que debe rechazarse	

OBSERVACIONES:

Tabla N° 4.3: Resultado de ensayo de granulometría al agregado grueso (Ensayo 1)

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"	
Proyecto: <u>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</u>	Reporte N°: <u>1</u>	
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>	Hoja N°: <u>1</u>	
Procedencia: <u>Cantera Holcím "Plantel Comalapa", La Paz</u>	Fecha: <u>24/04/2012</u>	
Ensayo N°: <u>1</u>		
Muestra N°: <u>1</u>		

**ENSAYO GRANULOMETRICO
DEL AGREGADO GRUESO
ASTM C-136**

Peso inicial: 1000.00 g

MALLA	PESO RETENIDO (g)	CANTIDAD RETENIDA			% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL %		ACUMULADO %	
1/2	0	0.00	0	0	100
3/8	0	0.00	0	0	100
Nº4	694.9	69.49	69	69	31
Nº8	289.3	28.93	29	98	2
Nº16	8.9	0.89	1	99	1
Nº50	3.3	0.33	0	100	0
PASA Nº50	3.6	0.36	0	100	0
TOTAL	1000.00	100.00	100		

OBSERVACIONES: En la malla Nº8 no paso el porcentaje requerido en la norma es por que en ese punto de la grafica cae fuera de los limites establecidos.

Figura N° 4.1: Grafico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico al agregado grueso (Ensayo 1).

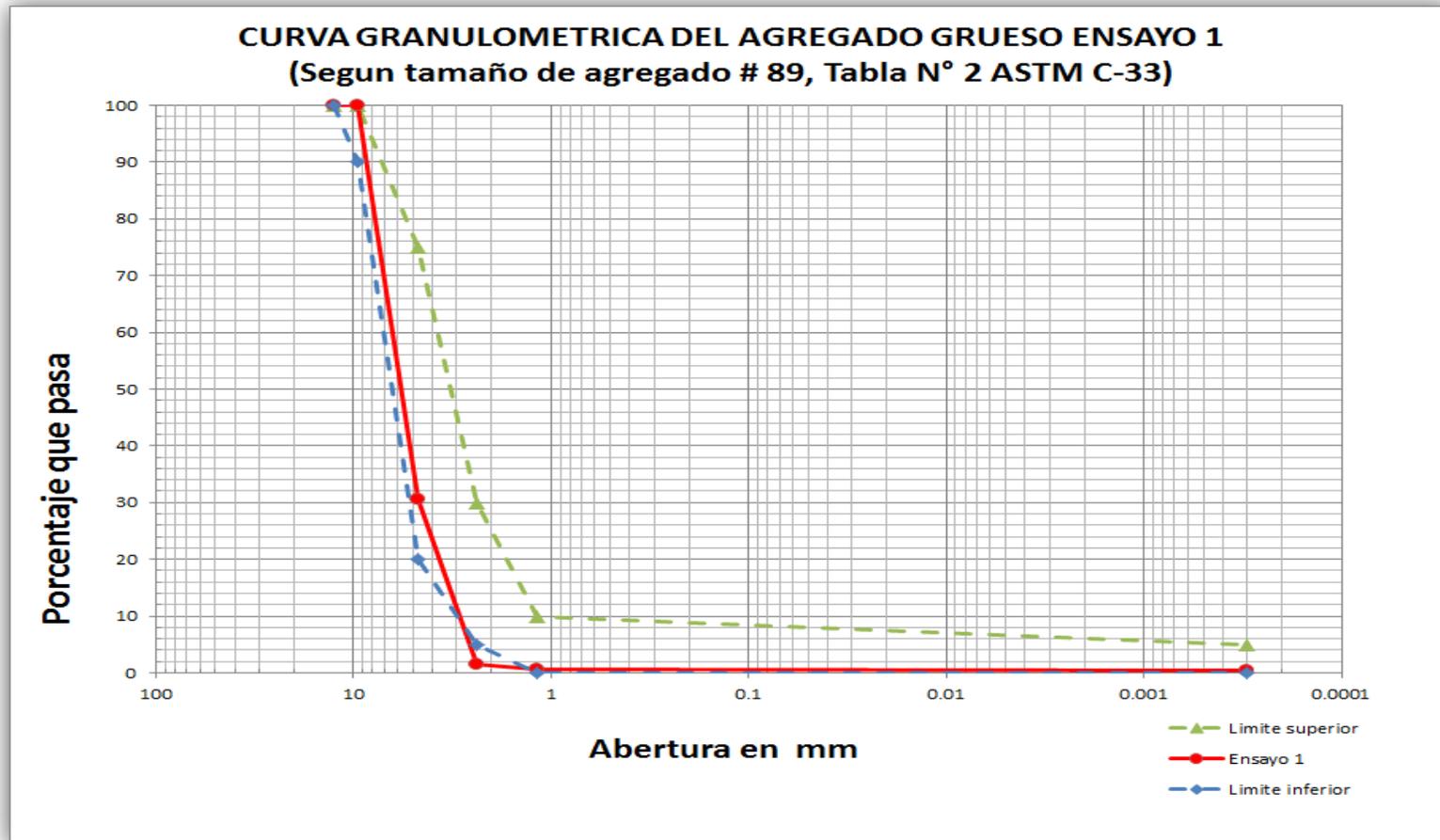


Tabla N° 4.4: Resultado de ensayo de granulometría al agregado grueso (Ensayo 2)

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"	
Proyecto: <u>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</u>	Reporte N°: <u>1</u>	
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>	Hoja N°: <u>2</u>	
Procedencia: <u>Cantera Holcim "Plantel Comalapa", La Paz</u>	Fecha: <u>24/04/2012</u>	
Ensayo N°: <u>2</u>		
Muestra N°: <u>1</u>		

**ENSAYO GRANULOMETRICO
DEL AGREGADO GRUESO
ASTM C-136**

Peso inicial: 1000.00 g

MALLA	PESO RETENIDO (g)	CANTIDAD RETENIDA		% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL %	ACUMULADO %	
1/2	0	0.00	0	100
3/8	0	0.00	0	100
Nº4	708.2	70.82	71	29
Nº8	277.7	27.77	28	1
Nº16	5.7	0.57	1	1
Nº50	1.5	0.15	0	1
PASA Nº50	6.9	0.69	1	0
TOTAL	1000.00	100.00	100	

OBSERVACIONES: En la malla Nº8 no paso el porcentaje requerido en la norma es por que en ese punto de la grafica cae fuera de los limites establecidos.

Figura N° 4.2: Grafico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico al agregado grueso (Ensayo 2)

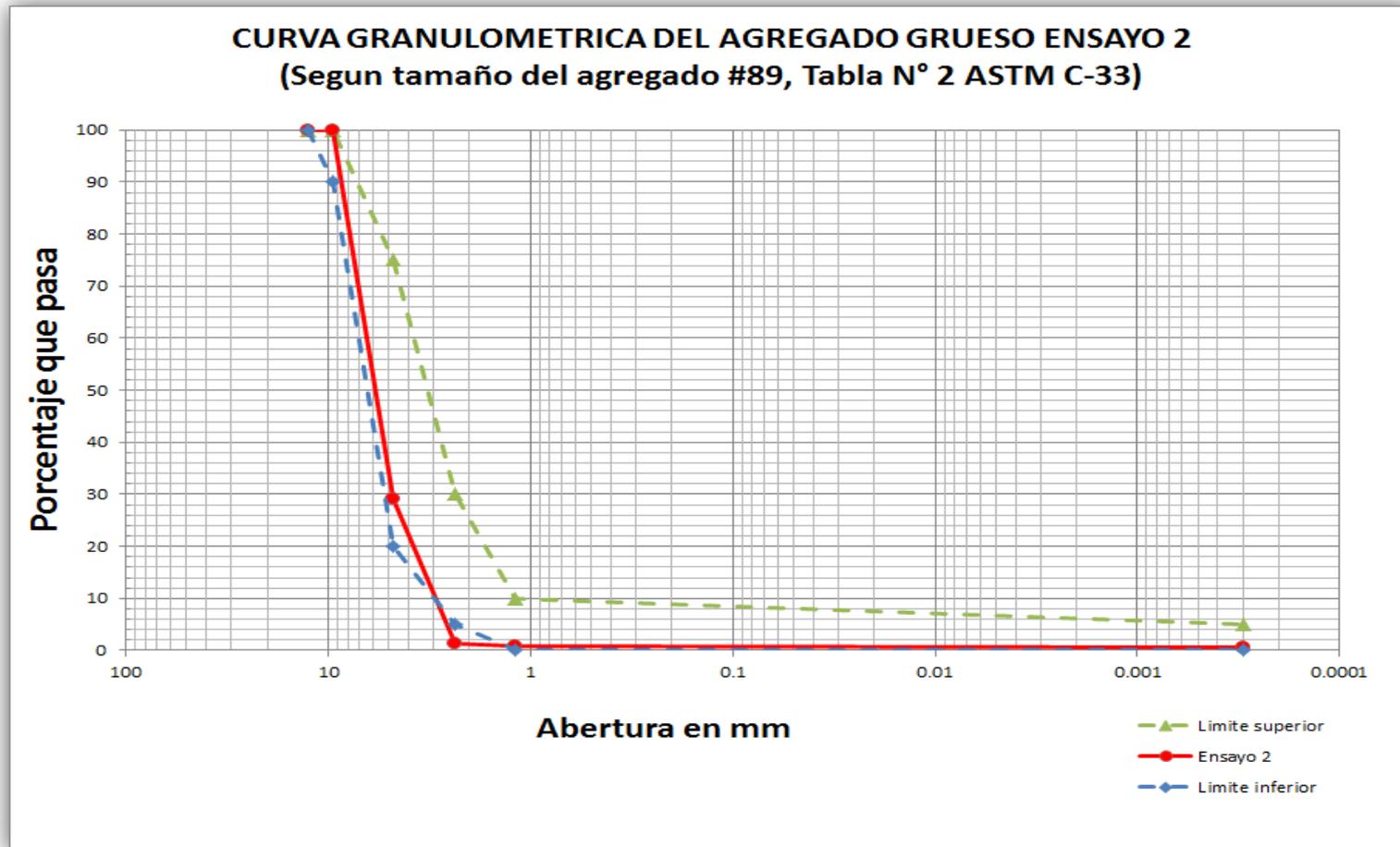


Tabla N° 4.5: Resultado de ensayo de granulometría al agregado fino (Ensayo 1)

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"	
Proyecto: <u>Trabajo de Graduación "Influencia del uso de Microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</u>	Reporte N°: <u>1</u>	
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>	Hoja N°: <u>1</u>	
Procedencia: <u>Cantera Holcim "Plantel Comalapa", La Paz</u>	Fecha: <u>24/04/2012</u>	
Ensayo N°: <u>1</u>		
Muestra N°: <u>1</u>		

**ENSAYO GRANULOMETRICO
DEL AGREGADO FINO
ASTM C-136**

Peso inicial: 330.50 g

MALLA	PESO RETENIDO (g)	CANTIDAD RETENIDA			% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL %	ACUMULADO %		
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
# 4	0.90	0.27	0	0	100
# 8	45.80	13.91	14	14	86
# 16	74.90	22.75	23	37	63
# 30	102.90	31.25	31	68	32
# 50	69.70	21.17	21	89	11
# 100	27.60	8.38	8	98	2
FONDO	7.50	2.28	2	100	0
TOTAL	329.30	100.00	100		

CALCULO DEL MODULO DE FINURA

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100} = \frac{307\%}{100} = 3.07$$

OBSERVACIONES:

Figura N° 4.3: Grafico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico al agregado fino (Ensayo 1).

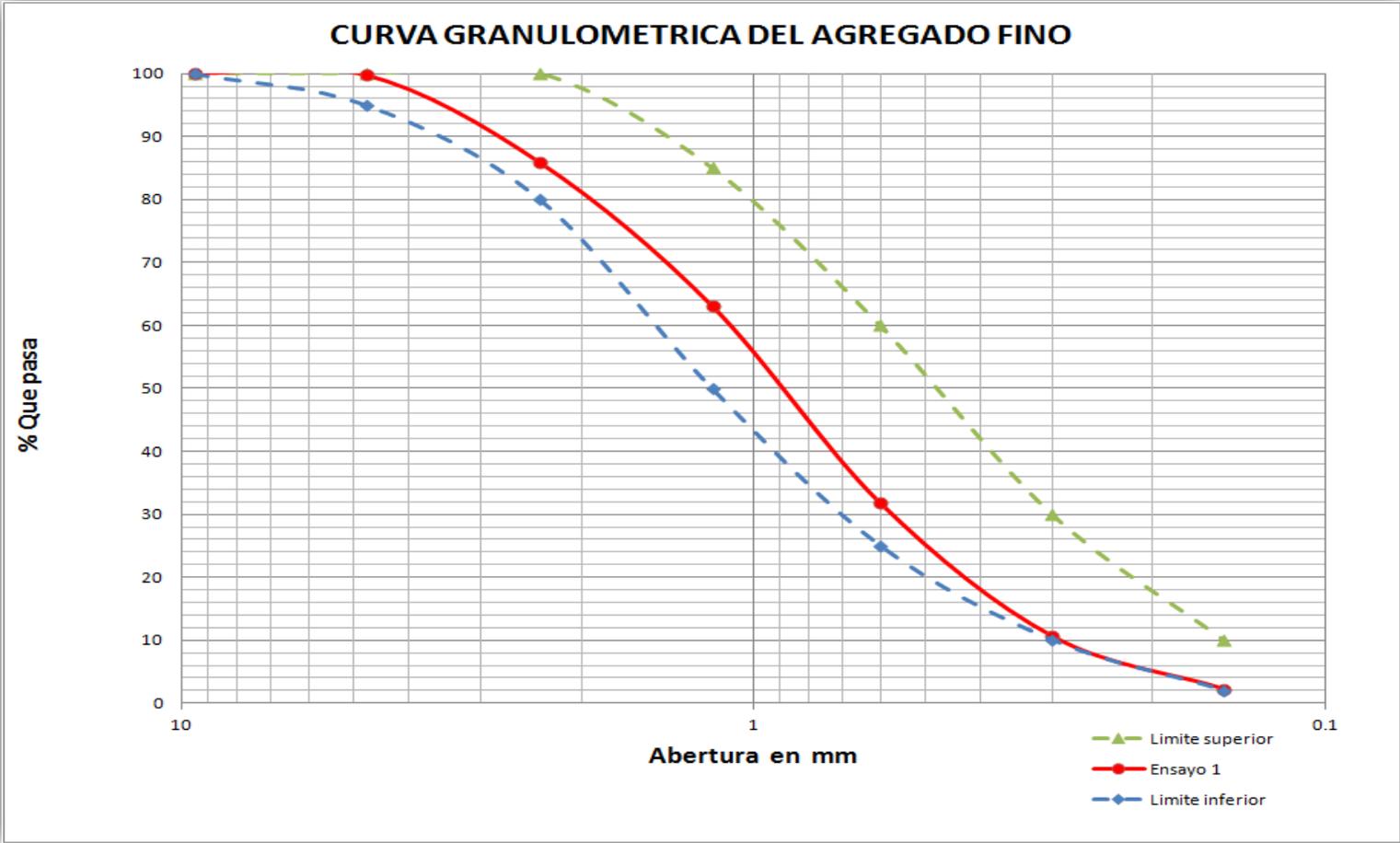


Tabla N° 4.6: Resultado de ensayo de granulometría al agregado fino (Ensayo 2)

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"	
Proyecto: <u>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</u>	Reporte N°: <u>1</u>	
Ubicación: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>	Hoja N°: <u>2</u>	
Procedencia: <u>Cantera Holcim "Plantel Comalapa", La Paz</u>	Fecha: <u>24/04/2012</u>	
Ensayo N°: <u>2</u>		
Muestra N°: <u>1</u>		

**ENSAYO GRANULOMETRICO
DEL AGREGADO FINO
ASTM C-136**

Peso inicial: 384.90 g

MALLA	PESO RETENIDO (g)	CANTIDAD RETENIDA			% ACUMULADO QUE PASA
		PARCIAL	ACUMULADO		
3/8"	0.00	0.00	0	0	100
# 4	0.90	0.23	0	0	100
# 8	49.40	12.85	13	13	87
# 16	95.30	24.79	25	38	62
# 30	112.40	29.23	29	67	33
# 50	75.80	19.71	20	87	13
# 100	36.30	9.44	9	96	4
FONDO	14.40	3.75	4	100	0
TOTAL	384.50	100.00	100		

CALCULO DEL MODULO DE FINURA

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acumulado retenido \#4 - \#100}}{100} = \frac{301\%}{100} = 3.01$$

OBSERVACIONES:

Figura N° 4.4: Grafico que nos muestra el resultado del ensayo granulométrico al agregado fino (Ensayo 2).

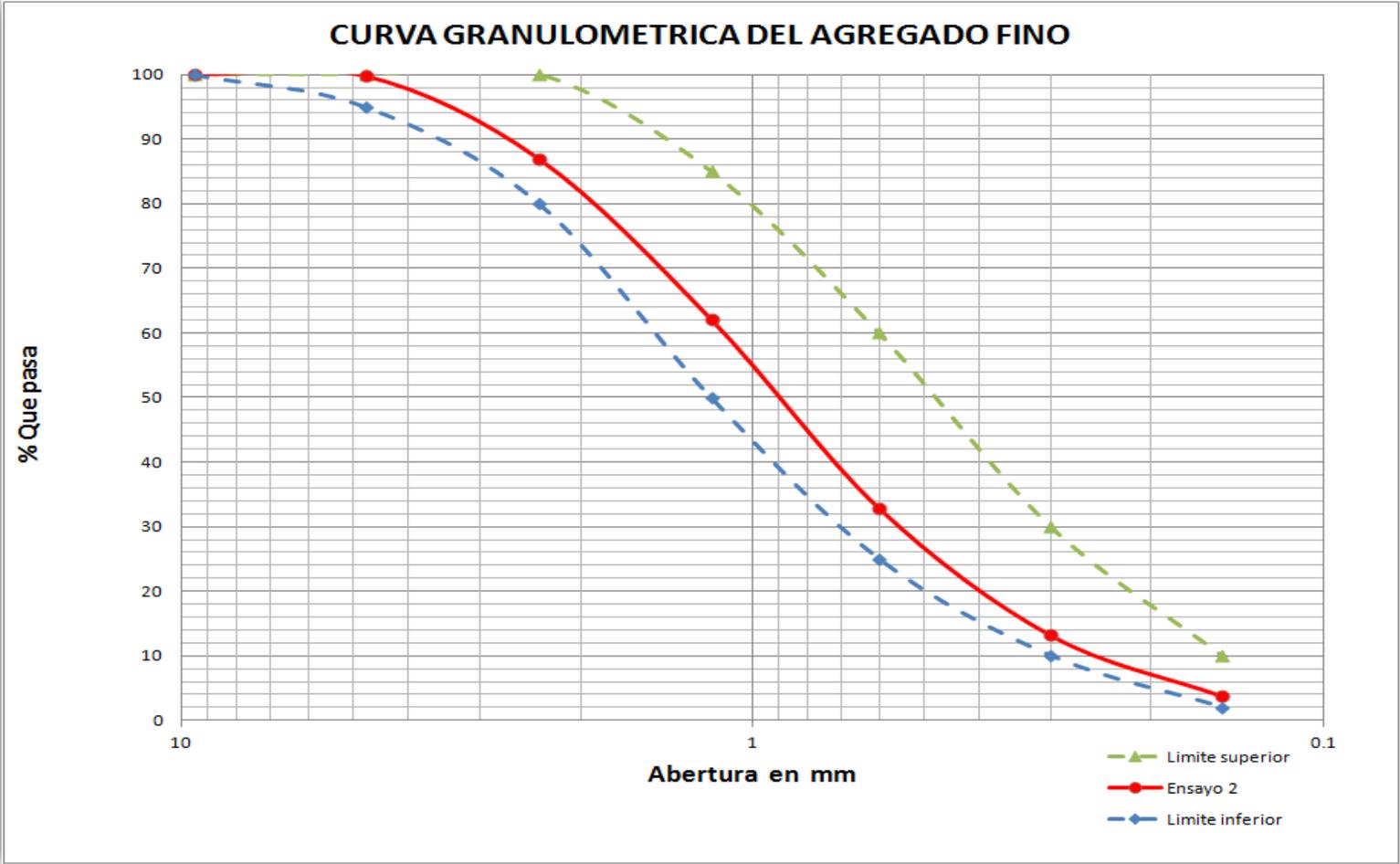


Tabla N° 4.7: Resultado de ensayo de gravedad específica y Absorción al agregado grueso.

Muestra No	1	2	3
Ensayo No	1	2	3
Peso de grava sss g	2065.7	2015	1457.4
Peso de grava sumergida g	1287.70	1253.50	906.30
Gravedad específica Bulk sss	2.66	2.65	2.64
Peso seco de grava g	1989.20	1938.70	1416
Gravedad específica Bulk seca	2.56	2.55	2.57
Gravedad específica Bulk aparente	2.84	2.83	2.78
Peso de agua g	76.50	76.30	41.40
Absorción %	3.85	3.94	2.92
Promedio de gravedad específica Bulk sss	2.65		
Promedio de gravedad específica Bulk seca	2.56		
Promedio de gravedad específica Bulk aparente	2.81		
Promedio de Absorción %	3.57		

OBSERVACIONES: _____

Tabla N° 4.8: Resultado de ensayo de gravedad específica y Absorción al agregado fino.

Muestra No	1	2	3
Ensayo No	1	2	3
Peso de Picnometro + agua (aforado) g	1474.50	1448.10	1474.00
Peso para absorción de arena sss g	466.80	400.40	354.40
Peso de arena sss g	507.00	506.40	505.10
Peso de Picnometro + agua + arena sss	1777.70	1746.40	1777.70
Gravedad específica Bulk sss	2.49	2.43	2.51
Peso seco de arena g	483.10	481.50	477.60
Gravedad específica Bulk seca	2.37	2.31	2.37
Gravedad específica Bulk aparente	2.69	2.63	2.75
Peso para absorción seco de arena g	443.00	377.90	337.7
Peso de agua g	23.80	22.50	16.70
Absorción %	5.37	5.95	4.95
Promedio de gravedad específica Bulk sss	2.48		
Promedio de gravedad específica Bulk seca	2.35		
Promedio de gravedad específica Bulk aparente	2.69		
Promedio de Absorción %	5.42		
OBSERVACIONES:			

Tabla N° 4.9: Resultado de la determinación del peso específico relativo del cemento.

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					
	"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"					
DETERMINACION DEL PESO ESPECÍFICO RELATIVO DEL CEMENTO ASTM C-188						
Proyecto:	<i>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i>		Reporte N°: <u>1</u>			
Ubicación:	<i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i>		Hoja N°: <u>1</u>			
Procedencia:	<i>Holcim Plantel Metapan</i>		Fecha: <u>30/04/2012</u>			
Ensayo N°:	<u>1</u>					
Muestra N°:	<u>1</u>					
Liquido Utilizado:						
	Nafta	<input type="checkbox"/>				
	Kerosene	<input checked="" type="checkbox"/>				
ENSAYO No		1	2			
Peso del cemento utilizado	g	64.000	64.000			
Volumen inicial (Vi)	cm ³	0.600	0.700			
Volumen final (Vf)	cm ³	21.200	21.300			
Volumen Desplazado	cm ³	20.600	20.600			
Densidad del Cemento	g/cm ³	3.107	3.107			
Peso específico relativo del cemento		3.107	3.107			
Peso específico del liquido utilizado		0.830	0.830			
Temperatura del Ensayo		22	22			
Promedio		3.11				
OBSERVACIONES:						

Tabla N° 4.10: Resultado de la determinación del peso volumétrico varillado del agregado grueso.

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					
	"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"					
DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO						
VARILLADO ASTM C-29						
Proyecto:	<i>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i>		Reporte N°: <u>1</u>			
Ubicación:	<i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i>		Hoja N°: <u>1</u>			
Procedencia:	<i>Cantera Holcim "Plantel Comalapa", La Paz</i>		Fecha: <u>27/04/2012</u>			
Ensayo N°:	<u>1</u>					
Muestra N°:	<u>1</u>					
Material:	<u>GRAVA</u>					
	# de molde:	<u>1</u>				
	Altura de molde:	<u>16.5</u>				
	Diametro de molde:	<u>15.2</u>				
	Peso de molde (kg):	<u>2.83</u>				
	Volumen de molde (cm ³):	<u>2994.06</u>				
ENSAYO No		1	2	3	4	5
Peso de molde	Kg	2.830	2.830	2.830	2.830	
Peso de molde + material	Kg	7.180	7.198	7.174	7.175	
Peso de material	Kg	4.350	4.368	4.344	4.345	
Volumen de molde	m ³	0.002994	0.002994	0.002994	0.002994	
Peso volumetrico varillado	Kg/m ³	1453	1459	1451	1451	
Promedio	Kg/m ³	1450				
OBSERVACIONES:						

Tabla N° 4.11: Resultado de la determinación del peso volumétrico suelto del agregado grueso.

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					
	"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"					
DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO						
SUELTO ASTM C-29						
Proyecto:	<i>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i>		Reporte N°: <u>1</u>			
Ubicación:	<i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i>		Hoja N°: <u>3</u>			
Procedencia:	<i>Cantera Holcim "Plantel Comalapa", La Paz</i>		Fecha: <u>27/04/2012</u>			
Ensayo N°:	<u>1</u>					
Muestra N°:	<u>1</u>					
Material:	<u>GRAVA</u>					
	# de molde:	<u>1</u>				
	Altura de molde:	<u>16.5</u>				
	Diametro de molde:	<u>15.2</u>				
	Peso de molde (kg):	<u>2.83</u>				
	Volumen de molde (cm ³):	<u>2994.06</u>				
ENSAYO No		1	2	3	4	5
Peso de molde	Kg	2.830	2.830	2.830	2.830	2.830
Peso de molde + material	Kg	6.952	6.912	6.874	6.852	6.873
Peso de material	Kg	4.122	4.082	4.044	4.022	4.043
Volumen de molde	m ³	0.002994	0.002994	0.002994	0.002994	0.002994
Peso volumetrico suelto	Kg/m ³	1377	1363	1351	1343	1350
Promedio	Kg/m ³	1360				
OBSERVACIONES:						

Tabla N° 4.12: Resultado de la determinación del peso volumétrico varillado del agregado fino.

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					
	"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"					
DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO						
VARILLADO ASTM C-29						
Proyecto:	<i>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i>		Reporte N°: <u>1</u>			
Ubicación:	<i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i>		Hoja N°: <u>2</u>			
Procedencia:	<i>Cantera Holcim "Plantel Comalapa", La Paz</i>		Fecha: <u>27/04/2012</u>			
Ensayo N°:	<u>1</u>					
Muestra N°:	<u>1</u>					
Material:	<u>ARENA</u>					
	# de molde:	<u>1</u>				
	Altura de molde:	<u>16.5</u>				
	Diametro de molde:	<u>15.2</u>				
	Peso de molde (kg):	<u>2.83</u>				
	Volumen de molde (cm ³):	<u>2994.06</u>				
ENSAYO No		1	2	3	4	5
Peso de molde	Kg	2.830	2.830	2.830	2.830	
Peso de molde + material	Kg	7.452	7.494	7.482	7.463	
Peso de material	Kg	4.712	4.754	4.742	4.723	
Volumen de molde	m ³	0.002994	0.002994	0.002994	0.002994	
Peso volumetrico varillado	Kg/m ³	1574	1588	1584	1577	
Promedio	Kg/m ³	1580				
OBSERVACIONES:						

Tabla N° 4.13: Resultado de la determinación del peso volumétrico suelto del agregado fino.

	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA					
	ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					
	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES					
	"ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"					
DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO						
SUELTO ASTM C-29						
Proyecto:	<i>Trabajo de Graduación "Influencia del uso de Microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i>		Reporte N°: <u>1</u>			
Ubicación:	<i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i>		Hoja N°: <u>4</u>			
Procedencia:	<i>Cantera Holcim "Plantel Comalapa", La Paz</i>		Fecha: <u>27/04/2012</u>			
Ensayo N°:	<u>1</u>					
Muestra N°:	<u>1</u>					
Material:	<u>ARENA</u>					
	# de molde:	<u>1</u>				
	Altura de molde:	<u>16.5</u>				
	Diametro de molde:	<u>15.2</u>				
	Peso de molde (kg):	<u>2.83</u>				
	Volumen de molde (cm ³):	<u>2994.06</u>				
ENSAYO No		1	2	3	4	5
Peso de molde	Kg	2.830	2.830	2.830	2.830	
Peso de molde + material	Kg	7.091	7.079	7.116	7.096	
Peso de material	Kg	4.261	4.249	4.286	4.266	
Volumen de molde	m ³	0.002994	0.002994	0.002994	0.002994	
Peso volumetrico suelto	Kg/m ³	1423	1419	1431	1425	
Promedio	Kg/m ³	1430				
OBSERVACIONES:						

4.3 APLICACIÓN DEL DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO PROPUESTO POR EL COMITÉ ACI 211.4R-93.

Para el proporcionamiento de la mezcla de concreto se apoyará en el comité ACI.211.4R-93, la cual da una serie de pasos a seguir para realizar el proporcionamiento, los pasos se presentan a continuación:

- ✓ PASO I: Información de los materiales.
- ✓ PASO II: Selección del revenimiento y resistencia del concreto requeridos.
- ✓ PASO III: Selección del tamaño máximo del agregado grueso.
- ✓ PASO IV: Selección del Volumen óptimo de agregado grueso.
- ✓ PASO V: Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire.
- ✓ PASO VI: Selección de la relación agua / materiales cementicios $W/(C+P)$.
- ✓ PASO VII: Cálculo del contenido de material cementicio.
- ✓ PASO VIII: Proporcionamiento de la mezcla básica solo con cemento portland como material cementicio.
- ✓ PASO IX: Ajuste por contenido de agua de los agregados.
- ✓ PASO X: Selección de proporciones de la mezcla óptima de laboratorio.

Estos pasos se aplicarán a la mezcla patrón y se mostrará a continuación. Tomando en cuenta que la resistencia de estudio de la mezcla patrón será de 500 kg/cm^2 , la cual estará elaborada con una tasa de dosificación de aditivo superplastificante de 800 ml/por cada 100 kg de cemento.

4.3.1 PASO I: INFORMACIÓN DE MATERIALES

Previamente a la realización de la mezcla de concreto es de suma importancia tener claro las características físicas de los materiales que conformarán el concreto de alta resistencia, ya que estos resultados servirán para realizar una adecuada dosificación. En la Tabla N° 4.14 se muestran las propiedades de los materiales.

Tabla N° 4.14: información de las propiedades de los materiales

MATERIAL	GRAVEDAD ESPECIFICA (Gsss)	ABSORCIÓN (%)	P.V.V (kg/cm ³)	MÓDULO DE FINURA	MATERIA ORGÁNICA
Arena	2.48	5.4	1580	3.04	NO
Grava	2.65	3.6	1450	-	NO
Cemento	3.11	-	-	-	NO
Agua	1	-	-	-	NO

NOTA: Los parámetros de Gravedad específica de la arena y grava están en condición saturada superficie seca.

FUENTE: Tablas de ensayos realizados a los agregados, sección 4.2 de este documento.

Cada uno de los valores de las propiedades de los materiales han sido obtenidos mediante la realización de cada ensayo según la sección 4.2

4.3.2 PASO II: SELECCIÓN DEL REVENIMIENTO Y RESISTENCIA DEL CONCRETO REQUERIDO

4.3.1 Selección del revenimiento

Para la selección del revenimiento se apoyará en la Tabla N° 4.15 (Tabla N° 4.3.1 del ACI.211.4R-93), la cual recomienda unos valores de revenimiento para concreto elaborado con aditivo reductor de agua de alto rango (HRWR) y concreto elaborado sin HRWR, a su vez realiza una aclaración que se puede ajustar el revenimiento al que se desea en el campo.

Tabla N° 4.15: Revenimiento recomendado para concreto con y sin HRWR

Tabla N° 4.3.1 - Revenimiento Recomendado para concreto con y sin HRWR	
CONCRETO ELABORADO CON HRWR*	
Revenimiento antes de añadir HRWR	25 a 50 mm
CONCRETO ELABORADO SIN HRWR	
Revenimiento	50 a 100 mm

* Ajustar el revenimiento, al que se desea en el campo a través de la adición de HRWR

FUENTE: Tabla N° 4.3.1. ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes

Para el caso de la mezcla patrón, se buscará tener un revenimiento de 50 mm o 2 pulgadas antes de añadir el aditivo HRWR

4.3.2 Resistencia del concreto requerida

Para la mezcla patrón la resistencia de estudio es de 500 kg/cm², para conocer la resistencia requerida se necesita realizar mezclas de concreto de prueba, para el caso de la investigación se tomó de referencia la tesis denominada “Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido”, en la cual se explica el procedimiento para llegar a obtener la resistencia del concreto requerida, se puede observar lo siguiente: que para una mezcla con resistencia de estudio 500 kg/cm² con aditivo HRWR en las diferentes dosificaciones de; 600ml/100 kg de cemento, 1200ml/100 kg de cemento, 1800ml/100 kg de cemento, obtuvieron resistencias superiores a la resistencia de estudio. Esto se puede observar en la Tabla N° 4.16.

Tabla N° 4.16: Tabla resumen de análisis para resistencia de estudio sobre el aditivo HRWR

MEZCLA	TASA DE DOSIFICACIÓN (ml/100 kg DE CEMENTO)	RESISTENCIA EN ESTUDIO (kg/cm ²)	RELACIÓN AGUA / CEMENTANTES	RESISTENCIA ALCANZADA A 7 DÍAS (kg/cm ²)		RESISTENCIA ALCANZADA A 28 DÍAS (kg/cm ²)		
				kg/cm ²	% alcanzado de resistencia en estudio	kg/cm ²	% alcanzado de resistencia en estudio	Desviación estándar
A1	600	500.00	0.45	431.34	86	545.47	109	31.6
A2	1200	500.00	0.45	463.00	93	588.05	118	18.0
A3	1800	500.00	0.45	461.57	92	595.45	119	19.7

FUENTE: Tesis: “influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido”

Por consiguiente se calculará la resistencia de diseño y esto se logra por medio de cualquiera de las 3 ecuaciones expuestas en el capítulo 2 del ACI 211.4R-93, la Figura N° 4.5 muestra dichas formulas.

Figura N° 4.5: Ecuaciones para el cálculo de la resistencia de diseño.

$f'_{cr} = f'c + (1.34 \times s)$	Ecuación 4.1 (2.1 en ACI 211.4R-93)
$f'_{cr} = (0.90 \times f'c) + (2.33 \times s)$	Ecuación 4.2 (2.2 en ACI 211.4R-93)
$f'_{cr} = \frac{f'c + 100}{0.90}$	Ecuación 4.3 (2.3 en ACI 211.4R-93)

S = Desviación estándar

FUENTE: ACI 211.4R-93“Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes, capítulo 2

La ecuación 4.1 y 4.2 son utilizadas cuando se posee un análisis estadístico (Desviación estándar), debido a que la mezcla patrón no posee, será diseñada con la ecuación 4.3 de la Figura N° 4.5.

Figura N° 4.6: Cálculo de la resistencia de diseño (f'_{cr})

f'_{c}	$f'_{cr} = \frac{f'_{c} + 100}{0.90}$	f'_{cr}
500	$\frac{500 + 100}{0.9}$	666.67
450	$\frac{450 + 100}{0.9}$	611.11
400	$\frac{400 + 100}{0.9}$	555.55

FUENTE: Los autores.

Como se puede observar en la Figura N° 4.6, sí se coloca de resistencia de estudio 500 kg/cm² el valor de resistencia de diseño será 666.67 kg/cm², pero este valor es demasiado elevado y se dice que estará sobre diseñado, por lo que se probó con otras resistencias de estudio que serían 450 y 400 kg/cm², lo que se observa que el ideal sería 400 kg/cm², debido a que la resistencia de diseño daría un valor elevado al inicial de 500 kg /cm². Pero conforme a los estudios realizados en la tesis “Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido”, se percató que un valor más óptimo sería 432.57 kg/cm², se decidió tomar este valor.

Debido a lo anterior se procede a realizar el cálculo de resistencia de diseño como se muestra en la Figura N° 4.7.

Figura N° 4.7: Cálculo de la resistencia de diseño (f'_{cr})

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 100}{0.90} = \frac{432.57 + 100}{0.90} = 591.74 \frac{kg}{cm^2}$$

FUENTE: Ecuación 2.3ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes”

Tal como se muestra la Figura N° 4.7 el valor de f'_{cr} es igual a 591.74 kg/cm².

4.3.3 PASO III: SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO

Tomando en cuenta que la resistencia de diseño de la mezcla patrón es de 591.74 kg/cm², se verifica en la Tabla N° 4.17 (Tabla N° 4.3.2 del comité ACI 211.4R-93).

Tabla N° 4.17: Tamaño máximo sugerido de agregado grueso.

RESISTENCIA REQUERIDA DEL CONCRETO, kg/cm ²	TAMAÑO MÁXIMO SUGERIDO PARA AGREGADO GRUESO, mm.
< 650	20 a 25
> 650	9.5 a 12.5*

*Cuando se usa HRWR y agregado grueso seleccionados, las resistencias a compresión del concreto en el rango de 650 a 850 kg/cm² pueden obtenerse usando agregados gruesos de tamaño máximo nominal mayor que el recomendado, pero no mayor de 25 mm.

FUENTE: Tabla N° 4.3.2. ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes

El tamaño máximo sugerido del agregado grueso, debido a que la resistencia de diseño es menor que 650 kg/cm^2 se tendrá que tomar 20 a 25 mm, las características del agregado que tenemos para elaborar la mezcla según las Tablas N° 4.3 y 4.4, lo cual indica que el tamaño máximo del agregado grueso es de 12.5 mm y el tamaño máximo nominal es de 9.5 mm, pero cabe recalcar que los tamaños máximos y tamaño máximo nominal son menores que los sugeridos por la Tabla N° 4.17.

4.3.4 PASO IV: SELECCIÓN DEL VOLUMEN ÓPTIMO DE AGREGADO GRUESO

El volumen óptimo se calcula por medio de la Tabla N° 4.18, (Tabla N° 4.3.3 del comité ACI.211.4R-93), este volumen esta dado en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso y del módulo de finura, el cual tiene que encontrarse en el rango de 2.5 a 3.2. En nuestra mezcla patrón el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de 9.5 mm ó 3/8”.

Tabla N° 4.18: Volumen óptimo de agregado grueso por unidad de volumen

Tabla N° 4.3.3- Volumen recomendado de agregado grueso por volumen unitario de concreto				
Contenidos óptimos de agregado grueso para tamaños máximos nominales de agregados que han de ser usados con arena con un módulo de finura de 2.5 a 3.2				
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, mm.	9.5	12.5	20	25
Volumen fraccionario* de agregado grueso varillado y secado al horno	0.65	0.68	0.72	0.75
*Los volúmenes están basados en agregados en condiciones de varillado y secado al horno tal como se describe en ASTM C 29 para la masa unitaria de los agregados.				

FUENTE: Tabla N° 4.3.3. ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes

Se obtiene el volumen óptimo del agregado grueso por medio de la Tabla N° 4.18 y el valor es de 0.65 como fracción de peso unitario, entonces el 0.65 significa que será el 65% de volumen unitario del agregado grueso, tal y como se muestra en la Figura N° 4.8.

Figura N° 4.8: Cálculo del peso de agregado grueso para una unidad de volumen de concreto.

$Peso\ del\ agregado\ grueso(OD) = (Vol.\ óptimo\ del\ agregado\ grueso \times PVV)$	(Ecuación 4.4)
$Peso\ del\ agregado\ grueso(OD) = \left(0.65 \times 1450 \frac{kg}{m^3}\right)$	Condición de agregado seco
$Peso\ del\ agregado\ grueso(OD) = 942.50\ kg\ para\ 1m^3$	
$Peso\ del\ agregado\ grueso(OD) = 942.50 \times \left(1 + \frac{3.6}{100}\right)$	Condición de agregado sss
$Peso\ del\ agregado\ grueso(OD) = 976.43\ kg\ para\ 1m^3$	
*DRUW = Dry-rodded unit weight (Peso unitario seco compactado)	

FUENTE: Ecuación 4.1 ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes”

En la mezcla patrón el peso del agregado grueso a utilizar será la que se mostró en la Figura N° 4.8. El valor en condición “triple s” es de 976.43 kg.

4.3.5 PASO V: ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE

En la Tabla N° 4.19 (Tabla N° 4.3.4 de comité ACI 211.4R-93), indica la estimación de agua de mezclado y contenido de aire del concreto fresco, según sí se utilizará aditivo HRWR y el tamaño máximo del agregado grueso con el que se cuenta, debido a que la mezcla patrón tiene un tamaño máximo de 12.5 mm y se le agregará aditivo HRWR y utilizando un revenimiento de 50 mm.

Tabla N° 4.19: Estimación de agua de mezclado y contenido de aire del concreto fresco

Tabla N° 4.3.4 Primera estimación del requisito de agua de mezclado y contenido de aire del concreto fresco con base en el uso de una arena con					
		AGUA DE MEZCLADO kg/m ³			
		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO, mm.			
Revenimiento, mm.		9.5	13	20	25
25 a 50		185	175	170	165
50 a 75		190	185	175	170
75 a 100		195	190	180	180
Contenido de aire Atrapado*	Sin HRWR	3	2.5	2	1.5
	Con HRWR	2.5	2	1.5	1

*Los valores dados deben ser ajustados para arena con huecos distintos de 35% usando la Ec.4-3

FUENTE: Tabla N° 4.3.4. ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes.

Se llega a observar en la Tabla N° 4.19 que la estimación de agua es de 175.0 kg para elaborar 1 m³ de concreto y el contenido de aire atrapado es de 2%, ya que se utilizará aditivo HRWR.

Los valores anteriores son aplicables cuando se utiliza un agregado fino que tiene un valor de contenido de vacíos de 35%, el contenido de aire puede ser calculado mediante la ecuación 4.5 de comité ACI 211.4R-93 en la Figura N° 4.9.

Figura N° 4.9: Cálculo de contenido de vacíos del agregado fino.

$\text{Contenido de vacíos, } V, \% = \left(1 - \frac{\text{peso unitario varillado secado al horno}}{\text{gravedad específica seca} \times 1000} \right) \times 100 \quad \text{(Ecuación 4.5)}$
$\text{Contenido de vacíos, } V, \% = \left(1 - \frac{1580}{2.35 \times 1000} \right) \times 100$
$\text{Contenido de vacíos, } V, \% = 32.77\% \quad \text{Condición sss}$

FUENTE: Ecuación 4.2 ACI 211.4 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes”

El contenido de vacíos de agregado fino es de 32.77%, el cual es diferente a 35%, por lo que se procede a realizar un ajuste en la cantidad de agua de mezclado el cual se realiza por la ecuación 4.6 del comité ACI 211.4R-93, como se muestra en la Figura N° 4.10

Figura N° 4.10: Cálculo ajuste en la cantidad de agua de mezclado.

$$\begin{aligned} \text{Ajuste del agua de mezclado} &= (\text{Contenido de vacíos} - 35) \times 5 && \text{(Ecuación 4.6)} \\ \text{Ajuste del agua de mezclado} &= (32.77 - 35) \times 5 \\ \text{Ajuste del agua de mezclado} &= -11.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

FUENTE: Ecuación 4.3 en ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes”

En la Figura N° 4.10 se puede observar que el ajuste de agua para mezclado es de -11.15 kg/m^3 .

Siguiendo con el procedimiento de diseño, el siguiente paso es de calcular el valor de agua de mezclado final mediante la ecuación 4.7, el cálculo se muestra en la Figura N° 4.11.

Figura N° 4.11: Cálculo de la cantidad de agua de mezclado final.

$$\begin{aligned} \text{Agua de mezclado final} &= \text{Agua de mezclado inicial} + \text{Ajuste del agua de mezclado} && \text{(Ecuación 4.7)} \\ \text{Agua de mezclado final} &= 175 + (-11.15) \\ \text{Agua de mezclado final} &= 163.85 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

En conclusión la cantidad de agua de mezclado final será 163.85 kg/m^3 .

4.3.6 PASO VI: SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/MATERIALES CEMENTICIOS

Como ya se sabe la relación agua/materiales cementicios para concretos de alta resistencia es baja, el comité ACI 211.4R-93 en las Tablas N° 4.20 y 4.21, se recomienda que en función del tamaño máximo del agregado grueso para conseguir resistencia a la compresión a los 28 días y 56 días, también se puede observar que la Tabla N° 4.20 (Tabla N° 4.3.5a de comité ACI 211.4R-93), muestra valores de agua/materiales cementicios para mezclas elaboradas sin aditivo HRWR, al contrario que la Tabla N° 4.21 (Tabla N° 4.3.5 b del comité ACI.211.4R-93), que es especialmente para concretos elaborados con aditivo HRWR.

Tabla N° 4.20: Estimación de la $W/(C+P)$ máxima para concretos hechos sin HRWR

		W/(C+P)			
		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO, mm.			
RESISTENCIA DE CAMPO f'_{cr}^* , kg/cm ²		9.5	13	20	25
490	28 días	0.42	0.41	0.4	0.39
	56 días	0.46	0.45	0.44	0.43
560	28 días	0.35	0.34	0.33	0.33
	56 días	0.38	0.37	0.36	0.35
635	28 días	0.3	0.29	0.29	0.28
	56 días	0.33	0.32	0.31	0.3
700	28 días	0.26	0.26	0.25	0.25
	56 días	0.29	0.28	0.27	0.26

* $f'_{cr} = f'_c + 100$

FUENTE: Tabla N° 4.3.5 (a). ACI 211.4R-93 "Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes"

Tabla N° 4.21: Estimación de la W/(C+P) máxima para concretos hechos con HRWR

Tabla N° 4.3.5 (b)- Relación w/(c+p) máxima recomendada para concretos hechos con HRWR

		W/(C+P)			
		TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO, mm.			
RESISTENCIA DE CAMPO f'cr*, kg/cm ²		9.5	13	20	25
490	28 días	0.5	0.48	0.45	0.43
	56 días	0.55	0.58	0.48	0.46
560	28 días	0.44	0.42	0.4	0.38
	56 días	0.48	0.45	0.42	0.4
635	28 días	0.38	0.36	0.35	0.34
	56 días	0.42	0.39	0.37	0.36
700	28 días	0.33	0.32	0.31	0.3
	56 días	0.37	0.35	0.33	0.32
775	28 días	0.3	0.29	0.27	0.27
	56 días	0.33	0.31	0.29	0.29
845	28 días	0.27	0.26	0.25	0.25
	56 días	0.3	0.28	0.27	0.26

*f'cr = f'c + 100

FUENTE: Tabla N° 4.3.5 (b). ACI 211.4-93 "Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes"

En el caso de la mezcla patrón la cual utilizará aditivo reductor de agua de alto rango (superplastificante) HRWR, para determinar la relación agua/materiales cementicios se utilizará la Tabla N° 4.20.

Antes de leer el valor en la tabla se necesita ajustar la resistencia a la compresión de diseño (f'cr), ya que las resistencias que se encuentran en las Tablas N° 4.20 y 4.21, son resistencias de campo promedio requeridas. Por lo tanto, el valor que se debe usar en las tablas se muestra en la Figura N° 4.12.

Figura N° 4.12: Ajuste de la resistencia a la compresión de diseño (f'_{cr}), para obtener la $W/(C+P)$ máxima.

$$f'_{cr} = f'_c + 100 \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

$$f'_{cr} = 432.57 + 100$$

$$f'_{cr} = 532.57 \frac{kg}{m^3}$$

FUENTE: Tabla N° 4.3.5 (a) y (b). ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes

En este punto se retoma lo antes explicado, ver el apartado 4.3.2.2 de este documento, que se podía tomar como resistencia de diseño estos valores: 500, 450, 400 kg/cm², sí se hubiese tomado unos de estos valores con el ajuste de resistencia, los valores que salen al efectuar los cálculos pertinentes se muestran en la Figura N° 4.13. En donde se puede observar que el valor que se calculaba antes con 400 kg/cm², hoy cumple con la resistencia de 500 kg/cm² pero de una manera ajustada, y tomando 500 kg/cm², la mezcla de concreto queda con un sobre diseño, por lo que se tomó de parámetro el valor de 432.57 kg/cm² que fue utilizada en la tesis denominada “Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido”.

Figura N° 4.13: Ajuste de la resistencia a la compresión de diseño (f'_{cr}), para obtener la $W/(C+P)$ máxima.

$f'c$	$f'_{cr} = f'c + 100$	f'_{cr}
500	$f'_{cr} = 500 + 100$	600
450	$f'_{cr} = 450 + 100$	550
400	$f'_{cr} = 400 + 100$	500

FUENTE: Los autores.

Obteniendo el nuevo valor de f'_{cr} según la Figura N° 4.12 y gracias a la Tabla N° 4.21 (Tabla N° 4.3.5b del comité ACI 211.4R-93), se encontró el límite superior e inferior interpolando se obtiene una relación agua/materiales cementicios de $0.443511 \approx \mathbf{0.44}$, considerando que la resistencia a la cual se ensayaran los especímenes será a los 28 días.

4.3.7 PASO VII: CALCULO DE CANTIDAD DE MATERIAL CEMENTICIO.

El cálculo de material cementicio, no es más que dividir la cantidad de agua de mezclado final entre la relación agua cemento calculada en el paso VI. Para el caso de la

mezcla patrón, el cálculo de material cementicio por unidad de volumen se realizará con la ecuación dada en la Figura N° 4.14.

Figura N° 4.14: Cálculo del contenido de material cementicio.

$$\text{Contenido de material cementicio} = \frac{\text{Agua de mezclado final}}{\text{Relación Agua/Material Cementicio}} \quad (\text{Ecuación 4.9})$$

$$\text{Contenido de material cementicio} = \frac{163.85}{0.443511} = 369.44 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de concreto}$$

FUENTE: Capítulo 4, paso 6. ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes

Como se puede observar anteriormente se obtiene un valor de contenido de material cementicio de 369.44 kg para un m^3 de concreto.

4.3.8 PASO VIII: PROPORCIONAMIENTO DE LA MEZCLA PATRÓN CON SOLO CEMENTO COMO MATERIAL CEMENTICIO.

Como ya se sabe no solo se obtiene el cemento como material cementicio, también las (cenizas volantes, microsílíce), pero en esta investigación solo se utiliza el cemento portland. Cabe recalcar que en el caso de la microsílíce que es un material cementicio solo será considerado como una adición a la mezcla.

- ✓ Para la mezcla patrón, las proporciones se calcularán de la siguiente manera
Figura N° 4.15.

Figura N° 4.15: Cálculo del volumen de cemento Portland para la mezcla patrón.

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de cemento} &= \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Peso específico del cemento}} \\
 \text{Volumen de cemento} &= \frac{369.44 \text{ kg}}{3.11 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.12 \text{ m}^3 \text{ de cemento para } 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto}
 \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

Se prosigue a calcular los volúmenes de grava, agua y aire para el mismo volumen de concreto, de la misma manera que el cemento.

- ✓ A continuación se presenta el cálculo del agregado grueso para producir un m^3 de concreto Figura N° 4.16.

Figura N° 4.16: Cálculo del volumen de agregado grueso.

$$\begin{aligned} \text{Volumen de agregado grueso} &= \frac{\text{Peso del agregado grueso}}{\text{Peso específico del agregado grueso}} \\ \text{Volumen de agregado grueso} &= \frac{976.85 \text{ kg}}{2.65 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \\ \text{Volumen de agregado grueso} &\approx 0.37 \text{ m}^3 \text{ para } 1\text{m}^3 \text{ de concreto} \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

- ✓ A continuación se presenta el cálculo del agua para producir un m^3 de concreto
Figura N° 4.17.

Figura N° 4.17: Cálculo del volumen de agua para la mezcla patrón.

$$\begin{aligned} \text{Volumen de agua} &= \frac{\text{Peso del H}_2\text{O}}{\text{Peso específico del H}_2\text{O}} \\ \text{Volumen de agua} &= \frac{163.85 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 0.16 \text{ m}^3 \text{ para } 1\text{m}^3 \text{ de concreto} \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

- ✓ Lo siguiente será calcular el volumen de aire que la mezcla tendrá, debido a que el porcentaje de aire es de 2.0 % se pasa a volumen de 0.02 metros cúbicos.

- ✓ Luego se procede a calcular el volumen de agregado fino como se describe en la Tabla N° 4.22, cabe aclarar que todos los agregados están en condición superficialmente seca.

Tabla N° 4.22: Calculo del volumen de agregado fino

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Volumen de cemento	m^3	0.12
Volumen de Agregado Grueso	m^3	0.37
Volumen de agua	m^3	0.16
Volumen de aire	m^3	0.02
Sub Total	m^3	0.67
Volumen agregado fino	m^3	$1 - 0.67 = 0.33$

FUENTE: Los Autores.

- ✓ Después de calcular el volumen de agregado fino para un m^3 de concreto se procede a calcular el peso del agregado fino como muestra la Figura N° 4.18.

Figura N° 4.18: Cálculo peso de agregado fino.

Peso del agregado fino = volumen agregado fino \times peso específico agregado fino

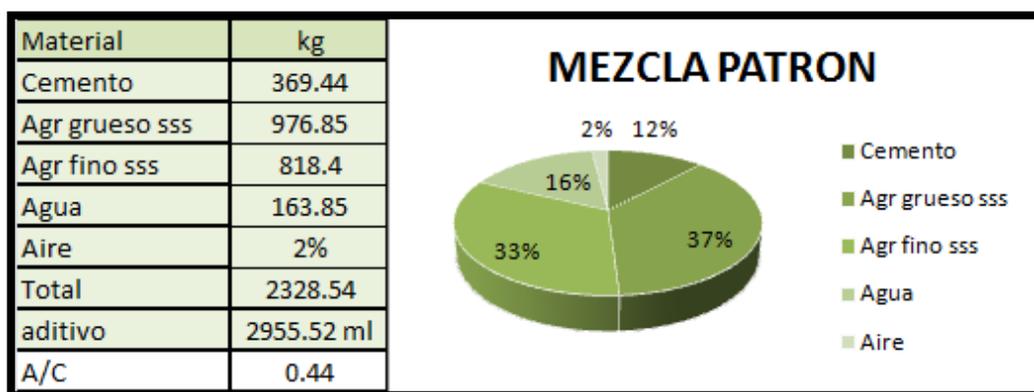
$$Peso\ del\ agregado\ fino = 0.33\ m^3 \times \left(2.48 \times 1000 \frac{kg}{m^3} \right)$$

Peso del agregado fino = 818.40 kg para $1m^3$ de concreto

FUENTE: Los Autores.

Con esto se finaliza el proporcionamiento de la mezcla patrón el cual se resume en la Tabla N° 4.23.

Tabla N° 4.23: Proporciones del diseño final para un m³ de concreto



FUENTE: Los Autores.

4.3.9 PASO IX: AJUSTE POR CONTENIDO DE AGUA DE LOS AGREGADOS.

Para la finalización de la mezcla patrón se tiene que tener en cuenta que la humedad que poseen los agregados afectará la cantidad de agua de mezcla final ya que los agregados pueden aportar agua o incluso disminuir agua a la mezcla. La humedad de los agregados previo a la elaboración de la mezcla fue para agregado grueso de 2.09 % y para agregado fino de 6.84 % y conociendo que el valor de absorción del agregado grueso es de 3.60% y para el agregado fino es de 5.40 %, a continuación se presentan los diferentes ajustes por humedad a los agregados, Figuras N° 4.19 y 4.20.

Figura N° 4.19: Cálculo del ajuste por humedad del agregado grueso para la mezcla patrón.

$$\begin{aligned}
 \text{Ajuste agregado grueso} &= (\text{Peso agregado grueso}) \times \left(1 + \frac{\% \text{humedad} - \% \text{absorción}}{100}\right) \\
 \text{Ajuste agregado grueso} &= (976.85 \text{ kg}) \times \left(1 + \frac{2.09 - 3.6}{100}\right) \\
 \text{Ajuste agregado grueso} &= 962.10 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de concreto} \quad \text{Condición húmedo}
 \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

Figura N° 4.20: Cálculo del ajuste por humedad del agregado fino para la mezcla patrón.

$$\begin{aligned}
 \text{Ajuste agregado fino} &= (\text{peso agregado fino}) \times \left[1 + \left(\frac{\% \text{humedad} - \% \text{absorción}}{100}\right)\right] \\
 \text{Ajuste agregado fino} &= (818.40 \text{ kg}) \times \left[1 + \left(\frac{6.84 - 5.4}{100}\right)\right] \\
 \text{Ajuste agregado fino} &= 830.18 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de concreto} \quad \text{Condición húmedo}
 \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

Ya finalizado los ajustes por humedad de los agregados grueso y fino se procede a ajustar el agua final como se muestra en la Figura N° 4.21.

Figura N° 4.21: Cálculo del ajuste por humedad para la mezcla patrón.

$$\begin{aligned}
 & \text{Ajuste peso del agua} = Apsa \\
 & \text{Peso del agua} = Psa \\
 & \text{Peso del agregado grueso} = Pag \\
 & \text{Peso del agregado fino} = Paf \\
 \\
 & Apsa = Psa - Pag \left(\frac{\%humedad - \%absorción}{100} \right) - Paf \left(\frac{\%humedad - \%absorción}{100} \right) \\
 \\
 & Apsa = 163.85 - 962.10 \left(\frac{2.09 - 3.6}{100} \right) - 830.18 \left(\frac{6.84 - 5.4}{100} \right) \\
 \\
 & Apsa = 166.42 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de concreto}
 \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

4.3.10 PASO X: SELECCIÓN DE PROPORCIONES PARA LABORATORIO

Luego de haber calculado previamente la corrección por humedad se procede a calcular las proporciones para un volumen de concreto en laboratorio.

Se calculará a continuación el volumen de concreto para realizar un revenimiento a la mezcla patrón para determinar su trabajabilidad y además poder observar la cohesividad de la mezcla y así poder aplicarle al diseño las correcciones necesarias. Este cálculo se puede observar en la Figura N° 4.22.

Figura N° 4.22: Volumen de mezcla patrón para ensayo en laboratorio.

$$\text{Volumen de mezcla a ensayar} = \text{Volumen revenimiento} \times 1.20 \text{ de desperdicio}$$

$$\text{Volumen de mezcla a ensayar} = 0.0065896 \times 1.20 = 0.0079076 \text{ m}^3$$

FUENTE: Los Autores.

Después de obtener el volumen de la mezcla de laboratorio se procede a calcular el proporcionamiento de todos los componentes de la mezcla, tal como se muestra en la Tabla N° 4.24 y Tabla N° 4.25

Tabla N° 4.24: Proporciones para un m³ de concreto.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento	kg	369.44
Agregado Grueso (húmedo)	kg	962.10
Agregado fino (húmedo)	kg	830.18
Agua	kg	166.42

FUENTE: Los Autores.

Tabla N° 4.25: Proporciones para un revenimiento de prueba de mezcla patrón.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento	kg	2.92
Agregado Grueso (húmedo)	kg	7.61
Agregado fino (húmedo)	kg	6.56
Agua	kg	1.30

FUENTE: Los Autores.

Debido a que al realizarse varias pruebas de revenimiento a la mezcla patrón sin aditivo HRWR, se pudo observar que dicha mezcla carecía de cohesividad y a la vez no se obtuvo el revenimiento esperado, según el diseño del concreto tal como se puede apreciar en la Figura N° 4.23

Figura N° 4.23. Fotografías de revenimientos fallidos



(a)

(b)

FUENTE: Los Autores.

Como se pudo observar en la Figura N° 4.23, la mezcla de concreto sin aditivo HRWR, se ve en la necesidad de realizar ciertos ajustes para llegar a obtener una mezcla adecuada homogénea y sobre todo con buena cohesividad y el revenimiento esperado sin aditivo estos ajustes serían los siguientes:

- ✓ Sustituir en cierto porcentaje la cantidad de agregado grueso ya que el diseño original se observaba con exceso de agregado grueso y eso hacía que faltara cohesividad a la mezcla (ver Figura N° 4.23-b).

- ✓ Aumentar el porcentaje de agua a la mezcla ya que esta se observaba seca y necesitaba un mayor revenimiento, aunque la cantidad de agua aumentaba la relación agua-cemento permanecía constante, ya que al aumentar el agua la cantidad de cemento también aumentaba y permanecía constante la relación.

Al inicio se decidió solamente disminuir la cantidad de agregado grueso en un cierto porcentaje, se probó con 15%, para observar cómo se comportaba la mezcla de concreto y quedaron las proporciones como se muestra en la Tabla N° 4.26.

Tabla N° 4.26: Proporciones para un m³ de concreto sin correcciones por humedad y con un 15% menos de agregado grueso aumentado a fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VOLUMEN (m ³)
Cemento	Kg	369.44	0.12
Agregado grueso	Kg	830.32	0.31
Agregado fino	Kg	958.94	0.39
Agua	Kg	163.45	0.16
Aire	%	2	0.02

FUENTE: Los Autores.

Al observar que la mezcla siempre presentaba una necesidad de la disminución de agregado grueso, se decidió hacer otra prueba pero con la disminución del doble de la inicial, es decir con un 30% y los resultados se observan en la Tabla N° 4.27.

Tabla N° 4.27: Proporciones para un m³ de concreto sin correcciones por humedad y con un 30% menos de agregado grueso aumentado a fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VOLUMEN (m ³)
Cemento	Kg	369.44	0.12
Agregado grueso	Kg	683.80	0.26
Agregado fino	Kg	1089.52	0.44
Agua	Kg	163.85	0.16
Aire	%	2	0.02

FUENTE: Los Autores.

A pesar de que la cantidad de agregado grueso había sido reducida considerablemente, lo que siempre faltaba era la cohesión, por lo que se decidió agregar el factor agua, es decir aumentar la cantidad de agua para a la vez aumentar la cantidad de cemento, y así no

afectar la relación agua cemento, en la Tabla N° 4.28 se puede observar las nuevas proporciones con las correcciones de 15% menos de agregado grueso y un aumento de 10 % en agua.

Tabla N° 4.28: Proporciones para un m³ de concreto sin correcciones por humedad y con un 15% menos de agregado grueso aumentado a fino y 10% aumento la cantidad de agua.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VOLUMEN (m ³)
Cemento	Kg	406.38	0.13
Agregado grueso	Kg	830.32	0.31
Agregado fino	Kg	882.30	0.36
Agua	Kg	180.24	0.18
Aire	%	2	0.02

FUENTE: Los Autores.

Luego de realizar la prueba de revenimiento se percató que la mezcla ya se encontraba de una mejor forma, pero a la vez seguía careciendo de cohesividad, por lo cual se siguió realizando más pruebas siempre variando con el porcentaje de agregado grueso y con la cantidad de agua de mezclado para obtener una mezcla favorable. La mezcla de concreto que dio buenos resultados fue, la mezcla a la cual se le quitó 36% de agregado grueso y a su vez se aumentó 50% de agua, los cálculos se muestran en la Figura N° 4.24.

Figura N° 4.24: Nuevas cantidades del agregado grueso y agua.

$$\begin{aligned} \text{Nueva cantidad de grava} &= P_{ag} \times \left[1 - \frac{\% \text{ de grava a quitar}}{100} \right] \\ \text{Nueva cantidad de grava} &= 976.85 \times \left(1 - \frac{36}{100} \right) = 625.18 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de concreto} \\ \text{Nueva cantidad de agua} &= P_{sa} \times \left[1 + \frac{\% \text{ de agua a aumentar}}{100} \right] \\ \text{Nueva cantidad de agua} &= 163.85 \times \left(1 + \frac{50}{100} \right) = 245.78 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de concreto} \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

Debido a que la cantidad de agua aumentó, la relación agua cemento cambio y lo que se busca es tener la relación agua-cemento constante, por lo tanto se hará un nuevo cálculo de la cantidad de cemento, el cual se muestra en la Figura N° 4.25.

Figura N° 4.25: Nueva cantidad de cemento.

$$\begin{aligned} \text{Nueva cantidad de cemento} &= \frac{\text{Nueva cantidad de agua}}{\text{Relación agua/cemento}} \\ \text{Nueva cantidad de cemento} &= \frac{245.78}{0.443511} = 554.17 \text{ kg para } 1\text{m}^3 \text{ de concreto} \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

Para el cálculo de agregado fino, este se llevará a cabo por medio de la resta de volúmenes como se muestra en la Tabla N° 4.29.

Tabla N° 4.29: Calculo del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Volumen de cemento	m^3	0.18
Volumen de Agregado Grueso	m^3	0.24
Volumen de agua	m^3	0.25
Volumen de aire	m^3	0.02
Sub Total	m^3	0.69
Volumen agregado fino	m^3	$1 - 0,69 = 0,31$

FUENTE: Los Autores.

La nueva cantidad de agregado fino se calcula como se muestra en la Figura N° 4.26

Figura N° 4.26: Nueva cantidad de agregado fino.

$$\begin{aligned} \text{Nueva cantidad de agregado fino} &= \text{Volumen de fino} \times \text{peso especifico de arena} \times 1000 \\ \text{Nueva cantidad de agregado fino} &= 0.31 \times 2.48 \times 1000 \\ \text{Nueva cantidad de agregado fino} &= 768.80 \text{ kg para } 1m^3 \text{ de concreto} \quad \text{Condición sss} \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

Las nuevas cantidades de componentes de la mezcla con las correcciones antes mencionadas, se muestran en la Tabla N° 4.30.

Tabla N° 4.30: Proporciones para un m³ de concreto ya corregidas

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD
Cemento	kg	554.17
Agregado Grueso (sss)	kg	625.18
Agregado fino (sss)	kg	768.80
Agua	kg	245.78

FUENTE: Los Autores.

Luego de tener las nuevas proporciones se procede a realizar las correcciones por humedad, dichas humedades en los agregados son; para el agregado grueso 2.66 % y para el agregado fino 8.24 %, las nuevas proporciones se observan en la Tabla N° 4.31.

Tabla N° 4.31: Proporciones para un m³ de concreto ya corregida

absorcion agregado grueso,%	3.6
absorcion agregado fino,%	5.4
Contenido de humedad del agregado grueso, %	2.66
Contenido de humedad del agregado fino, %	8.24
Proporciones para materiales de la mezcla patron	
Proporciones para 1m ³ de concreto	
Material	kg
Cemento	554.17
Agr grueso hum.	619.31
Agr fino hum.	790.63
Agua	229.14
Aire	2%
Total	2193.27
aditivo	4433.36 ml
A/C	0.44

MEZCLA PATRON

Legend:

- Cemento
- Agr grueso hum.
- Agr fino hum.
- Agua
- Aire

FUENTE: Los Autores.

Luego de realizar las correcciones por agregados y cantidad de agua, se procedió a realizar la corrección por humedad, en la Figura N° 4.27 se muestra como la mezcla sin aditivo HRWR obtiene el revenimiento de 2 pulgadas y una adecuada cohesividad y consistencia, en la Figura N° 4.28 se muestra la mezcla con la adición de HRWR obteniendo un revenimiento superior a las 8 pulgadas de revenimiento y una mezcla uniforme de buena apariencia, la cual será la mezcla patrón.

Figura N° 4.27: Mezcla luego de correcciones de agregados y humedades sin aditivo

HRWR



(a)

(b)

FUENTE: Los Autores.

Figura N° 4.28: Mezcla luego de correcciones por agregados y humedades con aditivo HRWR



(a)

(b)

FUENTE: Los Autores.

Ya teniendo las cantidades corregidas se procede a calcular las cantidades para una bachada, la cual constará de 30 especímenes cilíndricos para ensayarse a la compresión, de dimensiones de 4 x 8 pulgadas, 1 prueba de revenimiento, 1 prueba de contenido de aire y 1 prueba de peso volumétrico, el cálculo de todo el volumen se muestra en la Figura N° 4.29.

Figura N° 4.29. Volumen para bachada

$$V \text{ bachada} = (V \text{ de cilindros} \times 30 + V \text{ revenimiento} + V \text{ contenido aire} + V \text{ peso volumetrico}) * 1.2$$

$$V \text{ bachada} = (0.0494220 + 0.0065896 + 0.0065896) * 1.2$$

$$\text{Volumen de bachada} = 0.0751214 \text{ m}^3$$

FUENTE: Los Autores.

Teniendo el volumen para la bachada se procede a calcular las cantidades de todos los componentes de la mezcla de concreto, tal como se muestra en la Figura N° 4.30.

Figura N° 4.30. Cantidades de materiales para la bachada

$$\text{Cemento} = 554.17 \times 0.0751214 = 41.63 \text{ kg para el volumen dado}$$

$$\text{Agregado grueso} = 619.31 \times 0.0751214 = 46.52 \text{ kg para el volumen dado}$$

$$\text{Agregado fino} = 790.63 \times 0.0751214 = 59.39 \text{ kg para el volumene dado}$$

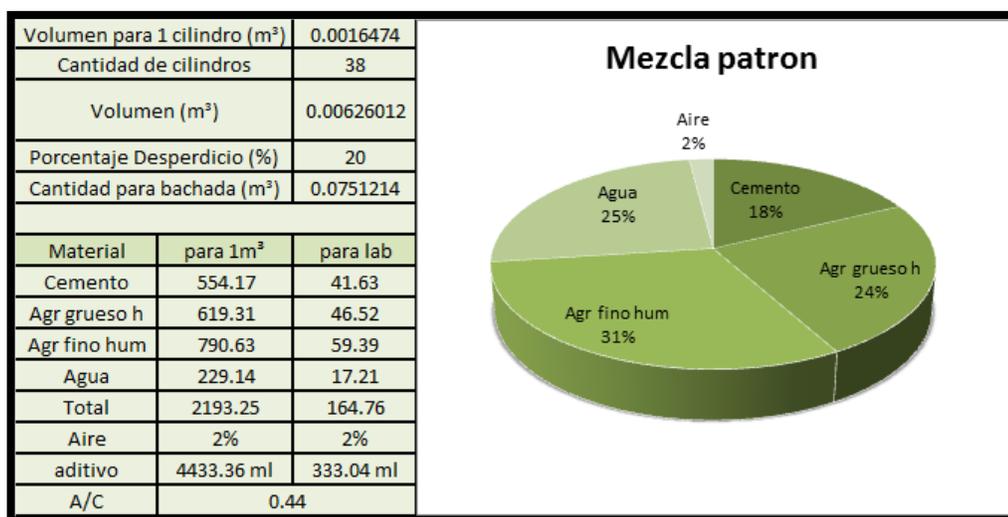
$$\text{Agua} = 229.14 \times 0.0751214 = 17.21 \text{ kg para el volumen dado}$$

$$\text{Aditivo} = 41.63 \text{ kg} \times \frac{800 \text{ ml}}{100 \text{ kg de cemento}} = 333.04 \text{ ml para el volumen dado}$$

FUENTE: Los Autores.

En la Tabla N° 4.32 se muestra un breve resumen de las mezcla patrón ya corregida por humedad, a su vez las cantidades para elaborar 1 m^3 y para el volumen de la bachada el cuales es 0.0751214 m^3 .

Tabla N° 4.32: Proporciones para la bachada final



FUENTE: Los Autores.

Cabe aclarar que para la elaboración de las mezclas con 7, 12 y 17 % de microsílice, se seguirá el mismo procedimiento de la mezcla patrón con la diferencia que se añadirá lo que se muestra en la Figura N° 4.31, este ejemplo estará elaborado con un 7 % de microsílice para el volumen de 0.0751214 m^3

Figura N° 4.31. Cantidad de microsílíce para 7% de la cantidad de cemento

$$\begin{aligned}
 & \text{Cantidad de cemento} = 41.63 \text{ kg} \\
 & \text{Cantidad de microsílíce} = \text{cantidad de cemento} \times \text{porcentaje de microsílíce} \\
 & \text{Cantidad de microsílíce} = 41.63 \text{ kg} \times 7\% \text{ de microsílíce} \\
 & \text{Cantidad de microsílíce} = 2.914 \text{ kg para el volumen estipulado}
 \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

En la Figura N° 4.32 se presenta un resumen de las cantidades de microsílíce para cada mezcla.

Figura N° 4.32. Cantidad de microsílíce para cada mezcla.

$$\begin{aligned}
 & \text{Cantidad de microsílíce para mezcla de 7\%} = 2.9141 \text{ kg para el volumen estipulado} \\
 & \text{Cantidad de microsílíce para mezcla de 12\%} = 4.9956 \text{ kg para el volumen estipulado} \\
 & \text{Cantidad de microsílíce para mezcla de 17\%} = 7.0771 \text{ kg para el volumen estipulado}
 \end{aligned}$$

FUENTE: Los Autores.

Con forme se irán elaborando los especímenes llegará un momento que el volumen de la bachada disminuirá, por ese motivo se elaborará una tabla electrónica con la cual se ingresará la cantidad de especímenes a elaborar, el porcentaje de microsílíce y las diferentes humedades de los agregados, esto con el fin de precisar los cálculos y a su vez facilitarlos.

De igual manera se hará para el cálculo de volumen de viguetas y de los cilindros a ensayar y para módulo de elasticidad.

✓ **Corrección por rendimiento para un m³**

En las Tablas N° 4.33, 4.34, 4.35 y 4.36, se presentan las correcciones realizadas a todas las mezclas (mezcla patrón, A, B y C), esto con el fin de obtener las proporciones reales para un metro cubico de concreto.

Tabla N° 4.33: Correcciones por rendimiento para la mezcla Patrón

MATERIAL	MEZCLA LABORATORIO	MEZCLA LABORATORIO SSS	RENDIMIENTO REAL SSS		PARA 1 m ³	
	Kg	Kg	Kg	VOLUMEN	Kg	m ³
Microsílice	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cemento	41.63	41.63	554.17	0.18	560.03	0.18
Agr. Grueso	46.52	46.96	625.09	0.24	631.70	0.24
Agr. Fino	59.39	57.703	768.13	0.31	776.26	0.31
Agua	17.21	18.46	245.73	0.25	246.74	0.25
Aire	-	-	-	0.02	-	0.02
Suma	164.75	164.75	2193.12	0.99	2214.73	1.00

FUENTE: Los Autores

Tabla N° 4.34: Correcciones por rendimiento para la mezcla A (7% de microsíllice)

MATERIAL	MEZCLA LABORATORIO	MEZCLA LABORATORIO SSS	RENDIMIENTO REAL SSS		PARA 1m ³	
	Kg	Kg	Kg	VOLUMEN	Kg	m ³
Microsíllice	2.91	2.91	38.79	0.02	38.52	0.02
Cemento	41.63	41.63	554.17	0.18	550.23	0.18
Agr. Grueso	46.52	46.96	625.09	0.24	620.64	0.23
Agr. Fino	59.39	57.703	768.13	0.31	762.67	0.31
Agua	17.21	18.46	245.73	0.25	243.98	0.24
Aire	-	-	-	0.02	-	0.02
Suma	167.66	167.66	2231.91	1.01	2216.04	1.00

FUENTE: Los Autores

Tabla N° 4.35: Correcciones por rendimiento para la mezcla B (12% de microsíllice)

MATERIAL	MEZCLA LABORATORIO	MEZCLA LABORATORIO SSS	RENDIMIENTO REAL SSS		PARA 1m ³	
	Kg	kg	Kg	VOLUMEN	Kg	m ³
Microsíllice	5.00	5.00	66.50	0.03	65.21	0.03
Cemento	41.63	41.63	554.17	0.18	543.43	0.17
Agr. Grueso	46.52	46.96	625.09	0.24	612.97	0.23
Agr. Fino	59.39	57.703	768.13	0.31	753.25	0.30
Agua	17.21	18.46	245.73	0.25	240.97	0.24
Aire	-	-	-	0.02	-	0.02
Suma	169.75	169.75	2259.62	1.02	2215.84	1.00

FUENTE: Los Autores

Tabla N° 4.36: Correcciones por rendimiento para la mezcla C (17% de microsílíce)

MATERIAL	MEZCLA LABORATORIO	MEZCLA LABORATORIO SSS	RENDIMIENTO REAL SSS		PARA 1 m ³	
	Kg	Kg	Kg	VOLUMEN	Kg	m ³
Microsílíce	7.08	7.08	94.21	0.04	91.26	0.04
Cemento	41.63	41.63	554.17	0.18	536.80	0.17
Agr. Grueso	46.52	46.96	625.09	0.24	605.50	0.23
Agr. Fino	59.39	57.703	768.13	0.31	744.06	0.30
Agua	17.21	18.46	245.73	0.25	238.03	0.24
Aire	-	-	-	0.02	-	0.02
Suma	171.83	171.83	2287.33	1.03	2215.64	1.00

FUENTE: Los Autores

CAPITULO 5: ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente apartado de esta investigación se presentan los resultados obtenidos en las distintas pruebas realizadas al concreto de alta resistencia con la adición y sin la adición de microsílíce. Primeramente se presentan los resultados de las pruebas que se le realizaron al concreto en estado fresco, entre las cuales se encuentran: revenimiento al concreto, temperatura, contenido de aire, peso volumétrico y tiempo de fraguado.

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos de las pruebas que se le realizaron a la mezcla de concreto en estado endurecido, entre las cuales se encuentran: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad.

Todas estas pruebas se realizaron con el fin de conocer la influencia de la microsílíce en las propiedades en estado fresco y endurecido, y poder establecer correlaciones que reflejen dicho comportamiento de la microsílíce en la mezcla de concreto de alta resistencia.

5.2 PRUEBAS AL CONCRETO

Para conocer la influencia de la microsílíce en concretos de alta resistencia, se debe de hacer ciertas pruebas y así poder determinar su comportamiento, tanto en estado fresco como endurecido. Las pruebas en estado fresco se hacen con la finalidad de determinar la trabajabilidad y consistencia de la mezcla de concreto, así como algunos parámetros que están relacionadas con el comportamiento que tienen las mezclas en el mismo estado mencionado anteriormente. Las pruebas en estado endurecido se realizan para observar las propiedades mecánicas del concreto, como la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y resistencia a flexión.

Los resultados de las pruebas de concreto en estado fresco y endurecido, se presentan en las siguientes secciones.

5.2.1 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El concreto en estado fresco presenta características de trabajabilidad y consistencia que se deben de cumplir a la hora de hacer una mezcla, por esta razón en esta investigación se realizaron algunas pruebas a la mezcla para garantizar la calidad de dicho concreto. Entre estas pruebas al concreto fresco están: revenimiento (ASTM C-143), temperatura del concreto (ASTM C-1064), contenido de aire (ASTM C-231), peso volumétrico (ASTM C-138) y tiempo de fraguado inicial y final (ASTM C-403).

A continuación se presentan los resultados de las pruebas que se le realizaron a las mezclas de concreto en estado fresco.

5.2.1.1 Resultados de Prueba de Revenimiento

La prueba de revenimiento se realizó mediante lo especificado en la sección 3.5.1.6 de este documento y los resultados se presentan en la Tabla N° 5.1.

Tabla N° 5.1: Resultados de prueba de revenimiento

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	VALOR DE REVENIMIENTO (pulg)	RANGO DE VALORES (pulg)	REVENIMIENTO PROMEDIO (pulg)	PERDIDA DE REVENIMIENTO RESPECTO A MEZCLA PATRÓN (%)*
P	0	11	10-11	10 ½	0
P	0	10 ½			
P	0	10			
P	0	10			
A	7	8 ½	7-8 ½	8	23.81
A	7	8 ½			
A	7	7			
A	7	7 ½			
B	12	6	5-7	6 ¼	40.48
B	12	5			
B	12	7			
B	12	6 ½			
C	17	3	2 ½-3 ½	3	71.43
C	17	3 ½			
C	17	3			
C	17	2 ½			

*Para el análisis de la disminución del revenimiento se tomó como referencia la mezcla patrón como un 100%

FUENTE: Los autores.

Los resultados se presentaron tal como se esperaba teóricamente, con la adición de la microsílíce el revenimiento tendería a disminuir con respecto a la mezcla patrón.

En la Tabla N° 5.1 se puede observar que con un porcentaje de adicción de 7% de microsílíce, hay una reducción de aproximadamente 24% de revenimiento respecto a la mezcla patrón, con una adición del 12% hay una pérdida del revenimiento de aproximadamente 40% respecto a la mezcla patrón y con una adición del 17% hay una pérdida de revenimiento de aproximadamente el 70% respecto a la mezcla patrón.

5.2.1.2 Resultados de Pruebas de Temperatura del Concreto.

Tal como se especifica en la sección 3.2.1.7 de este documento, la prueba de temperatura se realizó bajo la norma ASTM C-1064 y los resultados se presentan en la Tabla N° 5.2.

Tabla N° 5.2: Resultados de prueba de temperatura del concreto

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	VALOR DE TEMPERATURA (°C)	RANGO DE VALORES (°C)	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	AUMENTO DE TEMPERATURA RESPECTO A LA MEZCLA PATRÓN (%)*
P	0	32	29-32	30.5	0
P	0	30			
P	0	29			
P	0	31			
A	7	34	31-34	33	8.20
A	7	33			
A	7	31			
A	7	33			
B	12	34	32-35	34	11.48
B	12	35			
B	12	34			
B	12	32			
C	17	37	33-37	35	14.75
C	17	35			
C	17	36			
C	17	33			

*Para el análisis de aumento de la temperatura se tomó como referencia la mezcla patrón como un 100%

FUENTE: Los autores.

Como se indica en la norma la temperatura no debe de exceder de 32 °C y cómo se puede observar en la Tabla N° 5.2, que todas las mezclas que contienen adición de microsíllice sobrepasan dicho valor, esto se debe a que la microsíllice genera mayor calor de hidratación debido a su tamaño de partícula. En esta investigación lo que se busca es observar la influencia de la microsíllice, es por ello que se tomará como un resultado de dicha investigación. El aumento de temperatura con una adición de microsíllice del 7% respecto a la mezcla patrón es de aproximadamente el 8%, cuando se le adiciona un 12% de microsíllice esta le genera un aumento de temperatura de aproximadamente el 11% y cuando la adición de microsíllice es del 17% el aumento de temperatura respecto a la

mezcla patrón es de aproximadamente el 15%. También se puede observar que si se adiciona un 5 % de microsílíce a la mezcla de concreto, hay incremento de temperatura de aproximadamente de 1° C.

5.2.1.3 Resultados de Prueba de Contenido de Aire

El contenido de aire se realizó conforme a lo especificado en la sección 3.5.1.6 de este documento, los resultados se presentan en la Tabla N° 5.3.

Tabla N° 5.3: Resultados de prueba de contenido de aire

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	VALORES DE CONTENIDO DE AIRE (%)	RANGO DE VALORES (%)	CONTENIDO DE AIRE PROMEDIO (%)	AUMENTO DEL CONTENIDO DE AIRE RESPECTO A LA MEZCLA PATRÓN (%)*
P	0	0.5	0.5-2.1	1.5	0
P	0	2.1			
P	0	2			
P	0	1.5			
A	7	2.1	2.1-2.8	2.5	66.67
A	7	2.4			
A	7	2.8			
A	7	2.5			
B	12	2.5	2.5-3.0	2.8	86.67
B	12	2.9			
B	12	3.0			
B	12	2.7			
C	17	2.8	2.8-3.2	3.0	100
C	17	2.9			
C	17	3.2			
C	17	3.0			

*Para el análisis de aumento de contenido de aire se tomó como referencia la mezcla patrón como un 100%

FUENTE: Los autores.

Como se observa en la Tabla N° 5.3, y tomando como referencia la mezcla patrón (mezcla que no tiene microsílíce), las mezclas con adición de microsílíce presentan un aumento en su contenido de aire, pero los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores que especifica el ASTM C-494, que no debe ser mayor de 3.5% cuando se utiliza aditivo superplastificante. Con una adición de 7% de microsílíce, aumenta el contenido de aire en un 67% aproximadamente, cuando se adiciona un 12% de microsílíce la mezcla presenta un aumento de aproximadamente un 87% y si se le agrega una adición del 17% de microsílíce el contenido de aire aumenta un 100% respecto a la mezcla patrón.

5.2.1.4 Resultados de Prueba de Peso Volumétrico en Estado Fresco

Los resultados obtenidos de peso volumétrico del concreto en estado fresco se presentan en la Tabla N° 5.4, tal como se especifica en la sección 3.5.1.6 de este documento.

Tabla N° 5.4: Resultados de prueba de peso volumétrico

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	VALOR DE PESO VOLUMÉTRICO (kg/m ³)	RANGO DE VALORES (kg/m ³)	PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (kg/m ³)	REDUCCIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO RESPECTO A LA MEZCLA PATRÓN (%)*
P	0	2335	2309-2335	2323	0
P	0	2314			
P	0	2309			
P	0	2334			
A	7	2303	2284-2303	2293	1.29
A	7	2286			
A	7	2298			
A	7	2284			
B	12	2286	2264-2286	2272	2.20
B	12	2264			
B	12	2271			
B	12	2268			
C	17	2243	2243-2271	2256	2.88
C	17	2248			
C	17	2262			
C	17	2271			

*Para el análisis de la disminución del peso volumétrico en estado fresco se tomó como referencia la mezcla patrón como un 100%
FUENTE: Los autores.

En la Tabla N° 5.4, se puede observar que debido a la adición de microsíllice, las mezclas presentan una reducción con respecto a la mezcla patrón, esto puede haber sido generado por causa del comportamiento del contenido de aire (ver Tabla N° 5.3).

Debido a la adición de un 7% de microsíllice a la mezcla patrón se ve una reducción de 1.30% aproximadamente en su peso volumétrico en estado fresco; la adición de un 12% de microsíllice a la mezcla patrón le genera una reducción de aproximadamente 2.20%; cuando se adiciona un 17% de microsíllice la mezcla presenta una reducción en su peso volumétrico de aproximadamente 2.90%.

5.2.1.5 Resultados de Pruebas de Tiempo de Fraguado del Concreto

Como se especifica en la sección 3.5.1.6 de este documento, el tiempo de fraguado se realizó mediante la norma ASTM C-403. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla N° 5.5 y se muestra en el Anexo 3. los cálculos de cada ensayo.

Tabla N° 5.5: Resultados de prueba de tiempo de fraguado

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (kg/cm ²)	TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL		TIEMPO DE FRAGUADO FINAL	
			MINUTOS	HORAS	MINUTOS	HORAS
P	0	35	247	4.12	-	-
		280	-	-	359.83	6.00
A	7	35	237.92	3.97	-	-
		280	-	-	337.27	5.62
B	12	35	230.72	3.85	-	-
		280	-	-	332.10	5.54
C	17	35	229.21	3.82	-	-
		280	-	-	314.15	5.24

FUENTE: Los autores.

Debido a la adición de la microsíllice a las mezclas de concreto, el comportamiento del tiempo de fraguado tanto inicial como final, va en disminución sí se compara con la mezcla patrón, esto puede ser generado por el calor de hidratación de la microsíllice.

Tabla N° 5.6: Porcentaje de disminución del tiempo de fraguado tanto inicial como final respecto a la mezcla patrón.

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (kg/cm ²)	TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL (MINUTOS)	DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL RESPECTO A LA MEZCLA PATRÓN (%)*	TIEMPO DE FRAGUADO FINAL (MINUTOS)	DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO FINAL RESPECTO A LA MEZCLA PATRÓN (%)*
P	0	35	247	0	-	-
		280	-	-	359.83	0
A	7	35	237.92	3.68	-	-
		280	-	-	337.27	6.30
B	12	35	230.72	6.59	-	-
		280	-	-	332.10	7.71
C	17	35	229.21	7.20	-	-
		280	-	-	314.15	12.70

*Para el análisis de la disminución del tiempo de fraguado se tomó como referencia la mezcla patrón como un 100%

FUENTE: Los autores.

La Tabla N° 5.6 muestra que con un porcentaje de adición de 7% de microsíllice le genera a la mezcla un aproximado de 3.7% y 6.3% de reducción del tiempo de fraguado inicial y final respectivamente; con una adición del 12% de microsíllice a la mezcla se produce una reducción de 6.6% y 7.7% aproximadamente en el tiempo de fraguado tanto inicial como final respecto a la mezcla patrón; Un 17% de adición de microsíllice a la mezcla le proporciona una reducción en su tiempo de fraguado tanto inicial como final de aproximadamente 7.2% y 12.7% respectivamente tomando como referencia la mezcla patrón.

5.2.2 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

En todo diseño y elaboración de una mezcla de concreto de alta resistencia, es necesario realizarle diferentes pruebas, con el fin observar su comportamiento en estado endurecido. En nuestro caso es poder ver cómo influye la adición de la microsílíce a la mezcla de concreto de alta resistencia, para ello se realizó las siguientes pruebas: resistencia a la compresión (ASTM C-39), resistencia a flexión (ASTM C-78) y módulo de elasticidad (ASTM C-469)

5.2.3.1 Resultados de Resistencia a la Compresión a los 7 y 28 días.

En la Tabla N° 5.7 y Figura N° 5.1 se puede observar los resultados promedios de los ensayos a los 7 días de edad de las cuatro mezclas realizadas.

Tabla N° 5.7: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de todas las mezclas de concreto.

RESISTENCIA ESPERADA (kg/cm²)	MEZCLA P (kg/cm²)	MEZCLA A (kg/cm²)	MEZCLA B (kg/cm²)	MEZCLA C (kg/cm²)
500	277	404	451	485
500	384	421	438	495
500	356	379	446	532
500	415	471	595	547
500	429	489	575	565
500	419	467	568	544
500	433	503	551	567
500	433	486	538	583
500	-	524	552	518
500	-	518	519	533
promedios	410	466	523	537

FUENTE: Los autores.

Como se puede observar en la Tabla N° 5.7, los cilindros de la mezcla patrón (mezcla P), ninguno de los 8 promedio realizados fue superior a la resistencia esperada a la edad de los 7 días, uno de esos promedio salió demasiado bajo debido a que la superficie de los cilindros no era la ideal para ensayo, quedando dicho promedio con un valor de 277 kg/cm², por lo que no se tomará en cuenta en el promedio.

Observando las mezclas a 7 días con adición de microsílíce podemos decir que de la mezcla que contiene 7% de microsílíce es decir la mezcla A, de la cual se realizaron 10 promedios de ellos 3 promedios fueron superiores a la resistencia esperada y 7 fueron inferiores. Por otro lado de la mezcla que contienen 12% de microsílíce de la cual se realizaron 10 promedios, 7 de ellos fueron superior a la resistencia esperada y 3 fueron

inferior, y finalmente de la mezcla que contiene 17% de microsílíce de la cual se realizaron 10 promedios, 8 de ellos fueron superior a la resistencia esperada y 2 inferiores a ella.

En la Tabla N° 5.8, se puede observar la ganancia de resistencia de cada mezcla con respecto al promedio de la mezcla patrón a los 28 días de estudio cuyo valor es 538 kg/cm², la ganancia de resistencia de la mezcla A, B y C con respecto a la mezcla Patrón son de 86.60%, 97.22 % ,99.74% a los 7 días de estudio.

Tabla N° 5.8: Porcentajes de ganancia de resistencia de mezclas A B y C con respecto al promedio de la mezcla patrón a los 7 días de estudio.

PROMEDIO DE MEZCLA P A LOS 28 DÍAS(kg/cm ²)	PROMEDIO DE MEZCLA A (kg/cm ²)	PROMEDIO DE MEZCLA B (kg/cm ²)	PROMEDIO DE MEZCLA C (kg/cm ²)	% DE GANANCIA DE RESISTENCIA MEZCLA A	% DE GANANCIA DE RESISTENCIA MEZCLA B	% DE GANANCIA DE RESISTENCIA MEZCLA C
538	466	523	537	86.60	97.22	99.74

FUENTE: Los autores.

En la Tabla N° 5.9, se puede observar el porcentaje de ganancia de resistencia los 7 días de estudio de la mezcla patrón (mezcla P) con respecto a la resistencia de esperada, donde se puede apreciar ninguno de los promedios llegan al 100 % de la resistencia, el más cercano es el porcentaje de 87% por lo que se espera que para los 28 días se logre superar la resistencia esperada.

Tabla N° 5.9: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de mezcla patrón (Mezcla P).

MEZCLA	BACHADA	RELACIÓN AGUA/CEMENTANTES	RESULTADO DE PROMEDIO DE 3 ENSAYOS kg/cm ²	% ALCANZADO CON RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA
P	1	0.44	277	55
P	1	0.44	384	77
P	1	0.44	356	71
P	2	0.44	415	83
P	2	0.44	429	86
P	2	0.44	419	84
P	3	0.44	433	87
P	3	0.44	433	87

FUENTE: Los autores.

En la Tabla N° 5.10 se puede observar el porcentaje de ganancia de resistencia de la Mezcla A, a los 7 días de estudio con respecto al promedio del resultado de los ensayos de la mezcla patrón a los 28 días el cual fue 538 kg/cm², donde se puede apreciar que de los 10 promedios elaborados ninguno de ellos es superior al promedio de la mezcla patrón, por consiguiente los 10 promedios de la mezcla A tendrán un % de resistencia alcanzada con respecto a la mezcla P inferior al 100%.

Tabla N° 5.10: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de mezcla con 7 % de microsílíce (Mezcla A)

MEZCLA	BACHADA	RELACIÓN AGUA/CEMENTANTES	RESULTADO DE PROMEDIO DE 3 ENSAYOS kg/cm ²	PROMEDIO DE MEZCLA PATRÓN A 28 DÍAS kg/cm ²	% ALCANZADO CON RESPECTO A MEZCLA P
A	1	0.44	404	538	75
A	1	0.44	421	538	78
A	1	0.44	379	538	70
A	2	0.44	471	538	87
A	2	0.44	489	538	91
A	2	0.44	467	538	87
A	3	0.44	503	538	93
A	3	0.44	486	538	90
A	3	0.44	524	538	97
A	3	0.44	518	538	96

FUENTE: Los autores.

En la Tabla N° 5.11 se puede observar la ganancia de resistencia de la Mezcla B, a los 7 días de estudio con respecto al promedio del resultado de los ensayos de la mezcla patrón a los 28 días el cual es 538 kg/cm², en la cual se puede apreciar que 6 de los 10 promedios elaborados son superiores a los 538 kg/cm² y los 4 restantes son inferiores a dicho promedio, por consiguiente 6 promedios de la mezcla B tendrán un % de resistencia alcanzada con respecto a la mezcla P superior o igual al 100% y las restantes 4 tendrán un % inferior al 100% con respecto a la mezcla P.

Tabla N° 5.11: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de mezcla con 12 % de microsílice (Mezcla B)

MEZCLA	BACHADA	RELACIÓN AGUA/CEMENTANTES	RESULTADO DE PROMEDIO DE 3 ENSAYOS kg/cm ²	PROMEDIO DE MEZCLA PATRÓN A 28 DÍAS kg/cm ²	% ALCANZADO CON RESPECTO A MEZCLA P
B	1	0.44	451	538	84
B	1	0.44	434	538	81
B	1	0.44	446	538	83
B	2	0.44	595	538	110
B	2	0.44	575	538	107
B	2	0.44	568	538	105
B	3	0.44	551	538	102
B	3	0.44	538	538	100
B	3	0.44	552	538	103
B	3	0.44	519	538	96

FUENTE: Los autores.

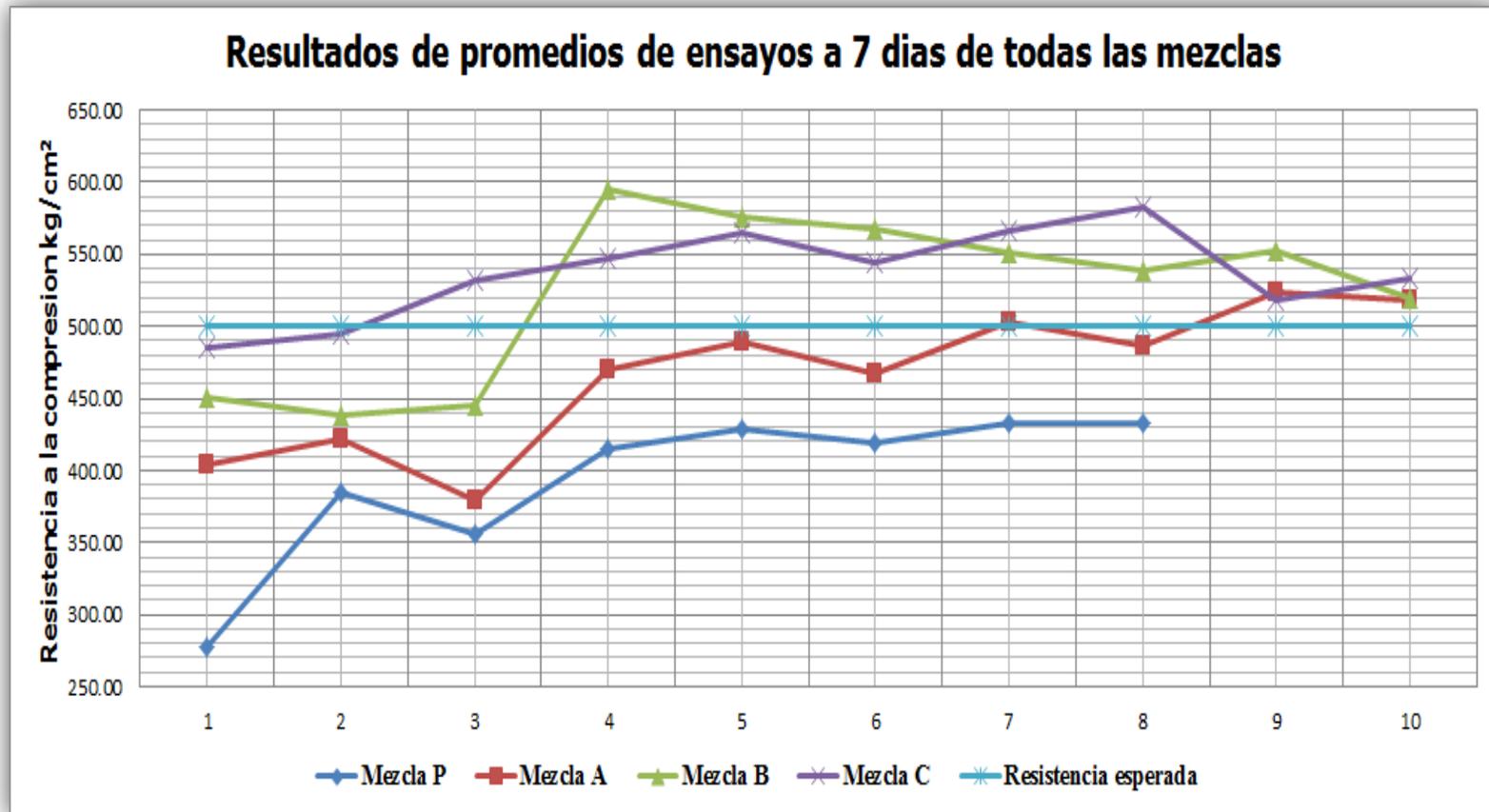
En la Tabla N° 5.12 se puede observar la ganancia de resistencia de la Mezcla C, a los 7 días de estudio con respecto al promedio del resultado de los ensayos de la mezcla patrón a los 28 días el cual es 538 kg/cm², en la cual se puede apreciar que 5 de los 10 promedios elaborados son superiores a los 538 kg/cm² y los 5 restantes son inferiores a dicho promedio, por consiguiente 5 promedios de la mezcla C tendrán un % de resistencia alcanzada con respecto a la mezcla P superior o igual al 100% y las restantes 5 tendrán un % inferior al 100% con respecto a la mezcla P.

**Tabla N° 5.12: Resultados de promedios de ensayo a 7 días de edad de mezcla con 17
% de microsílíce (Mezcla C)**

MEZCLA	BACHADA	RELACIÓN AGUA/CEMENTANTES	RESULTADO DE PROMEDIO DE 3 ENSAYOS kg/cm ²	PROMEDIO DE MEZCLA PATRÓN A 28 DÍAS kg/cm ²	% ALCANZADO CON RESPECTO A MEZCLA P
C	1	0.44	485	538	90
C	1	0.44	495	538	92
C	1	0.44	532	538	99
C	2	0.44	548	538	102
C	2	0.44	565	538	105
C	2	0.44	544	538	101
C	3	0.44	567	538	105
C	3	0.44	583	538	108
C	3	0.44	518	538	96
C	3	0.44	533	538	99

FUENTE: Los autores.

Figura N° 5.1: Grafico que nos muestra los resultados de la resistencia promedio a la compresión de todas las mezclas a los 7 días de edad.



FUENTE: Los autores.

En la Tabla N° 5.13 y Figura N° 5.2 se puede observar los resultados promedios de los ensayos a los 28 días de edad de las cuatro mezclas realizadas.

Tabla N° 5.13: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de todas las mezclas de concreto.

RESISTENCIA ESPERADA (kg/cm²)	MEZCLA P (kg/cm²)	MEZCLA A (kg/cm²)	MEZCLA B (kg/cm²)	MEZCLA C (kg/cm²)
500	532	516	597	659
500	541	530	580	626
500	502	570	658	670
500	559	591	703	664
500	490	626	711	729
500	486	570	666	733
500	579	576	744	725
500	592	594	684	714
500	521	629	701	748
500	560	652	741	781
500	551	660	695	675
500	544	645	728	771
500	542	667	733	724
500	-	676	748	748
500	-	657	649	736
promedios	538	611	689	714

FUENTE: Los autores.

Como se puede observar en la Tabla N° 5.13 los cilindros de la mezcla patrón (mezcla P), de los 13 promedios elaborados 11 de ellos son superiores a la resistencia de esperada y 2 son inferiores a la edad de los 28 días. Observando las mezclas a 28 días con adición de microsílíce podemos decir que de la mezcla que contiene 7% de microsílíce es decir la mezcla A, de la cual se realizaron 15 promedios, todos ellos fueron superiores a la

resistencia esperada de 500kg/cm², de la misma manera las mezcla que contienen 12% y 17% de microsílíce de los cuales se realizaron 15 promedios se puede decir que los 15 de cada mezcla fueron superiores a la resistencia esperada de 500 kg/cm².

En la Tabla N° 5.14 se puede observar la ganancia promedio de resistencia de cada mezcla con respecto al promedio de la mezcla patrón a los 28 días de estudio; cuyo valor es 538 kg/cm², la ganancia de resistencia de la mezcla A, B y C con respecto a la mezcla Patrón fue de 113.43%, 128.06 % ,132.56 % respectivamente, a los 28 días de estudio.

Se puede observar que al colocar una cantidad de 7 % de microsílíce la ganancia de resistencia adicional al 100% respecto a la mezcla sin microsílíce es de 72 kg/cm², la cual en porcentaje es de 13.43 %, al colocar 12 % de microsílíce se gana adicionalmente una resistencia con respecto a la mezcla sin microsílíce de 151 kg/cm², la cual en porcentaje es de 28.06 %, y al colocar 17 % de microsílíce se gana adicionalmente una resistencia con respecto a la mezcla sin microsílíce de 175 kg/cm² la cual en porcentaje es de 32.56 %.

Tabla N° 5.14: Porcentajes de ganancia de resistencia de mezclas A B y C con respecto al promedio de la mezcla patrón a los 28 días de estudio.

PROMEDIO DE MEZCLA P (kg/cm ²)	PROMEDIO DE MEZCLA A (kg/cm ²)	PROMEDIO DE MEZCLA B (kg/cm ²)	PROMEDIO DE MEZCLA C (kg/cm ²)	% DE GANANCIA DE RESISTENCIA MEZCLA A	% DE GANANCIA DE RESISTENCIA MEZCLA B	% DE GANANCIA DE RESISTENCIA MEZCLA C
538	611	689	714	113.43	128.06	132.56

FUENTE: Los autores.

En la Tabla N° 5.15 se puede observar el porcentaje de ganancia de resistencia los 28 días de estudio de la mezcla patrón (mezcla P) con respecto a la resistencia esperada de 500kg/cm², donde se puede apreciar que de los 13 promedios elaborados 11 son superiores y los 2 restantes son inferiores a 500kg/cm². De igual manera en el caso del porcentaje de resistencia alcanzado solo fue superior a 100% en 11 promedios, los restantes 2 fueron inferiores a dicho porcentajes.

Tabla N° 5.15: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de mezcla patrón (Mezcla P).

MEZCLA	BACHADA	RELACIÓN AGUA/CEMENTANTES	RESULTADO DE PROMEDIO DE 3 ENSAYOS kg/cm ²	% ALCANZADO CON RESPECTO A LA RESISTENCIA ESPERADA
P	1	0.44	532	106
P	1	0.44	541	108
P	1	0.44	502	100
P	2	0.44	559	112
P	2	0.44	490	98
P	2	0.44	486	97
P	3	0.44	579	116
P	3	0.44	592	118
P	3	0.44	521	104
P	3	0.44	560	112
P	3	0.44	551	110
P	3	0.44	544	109
P	3	0.44	542	108

FUENTE: Los autores.

En la Tabla N° 5.16 se puede observar el porcentaje de ganancia de resistencia de la Mezcla A, a los 28 días de estudio con respecto al promedio del resultado de los ensayos de la mezcla patrón a los 28 días el cual es 538 kg/cm², donde se puede apreciar que de los 15 promedios elaborados 13 de ellos son superior a la mezcla P y los 2 restantes son inferiores, de igual manera en el porcentajes alcanzado con respecto a la mezcla P, 13 promedios son superiores al 100% y 2 son inferiores a dicho porcentaje, cabe recalcar que el rango de porcentaje alcanzado con respecto a la mezcla patrón fue de 96% a 126%.

Tabla N° 5.16: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de mezcla con 7 % de microsílice (Mezcla A)

MEZCLA	BACHADA	RELACIÓN AGUA/CEMENTANTES	RESULTADO DE PROMEDIO DE 3 ENSAYOS kg/cm ²	PROMEDIO DE MEZCLA PATRÓN A 28 DÍAS kg/cm ²	% ALCANZADO CON RESPECTO A MEZCLA P
A	1	0.44	516	538	96
A	1	0.44	530	538	98
A	1	0.44	567	538	106
A	2	0.44	591	538	110
A	2	0.44	626	538	116
A	2	0.44	570	538	106
A	2	0.44	576	538	107
A	2	0.44	594	538	110
A	3	0.44	629	538	117
A	3	0.44	652	538	121
A	3	0.44	660	538	123
A	3	0.44	645	538	120
A	3	0.44	667	538	124
A	3	0.44	676	538	126
A	3	0.44	657	538	122

FUENTE: Los autores.

En la Tabla N° 5.17, se puede observar el porcentaje de ganancia de resistencia de la Mezcla B, a los 28 días de estudio con respecto al promedio del resultado de los ensayos de la mezcla patrón a los 28 días el cual es 538 kg/cm², donde se puede apreciar que de los 15 promedios elaborados todos ellos son superior a la mezcla P, de igual manera en el porcentajes alcanzado con respecto a la mezcla P, todos los promedios son superiores al 100%, cabe recalcar que el rango de porcentaje alcanzado con respecto a la mezcla patrón fue de 108% a 139%.

Tabla N° 5.17: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de mezcla con 12% de microsílíce (Mezcla B)

MEZCLA	BACHADA	RELACIÓN AGUA/CEMENTANTES	RESULTADO DE PROMEDIO DE 3 ENSAYOS kg/cm ²	PROMEDIO DE MEZCLA PATRÓN A 28 DÍAS kg/cm ²	% ALCANZADO CON RESPECTO A MEZCLA P
B	1	0.44	597	538	111
B	1	0.44	580	538	108
B	1	0.44	658	538	122
B	2	0.44	703	538	131
B	2	0.44	711	538	132
B	2	0.44	666	538	124
B	2	0.44	744	538	138
B	2	0.44	685	538	127
B	3	0.44	701	538	130
B	3	0.44	741	538	138
B	3	0.44	695	538	129
B	3	0.44	728	538	135
B	3	0.44	733	538	136
B	3	0.44	748	538	139
B	3	0.44	649	538	121

FUENTE: Los autores.

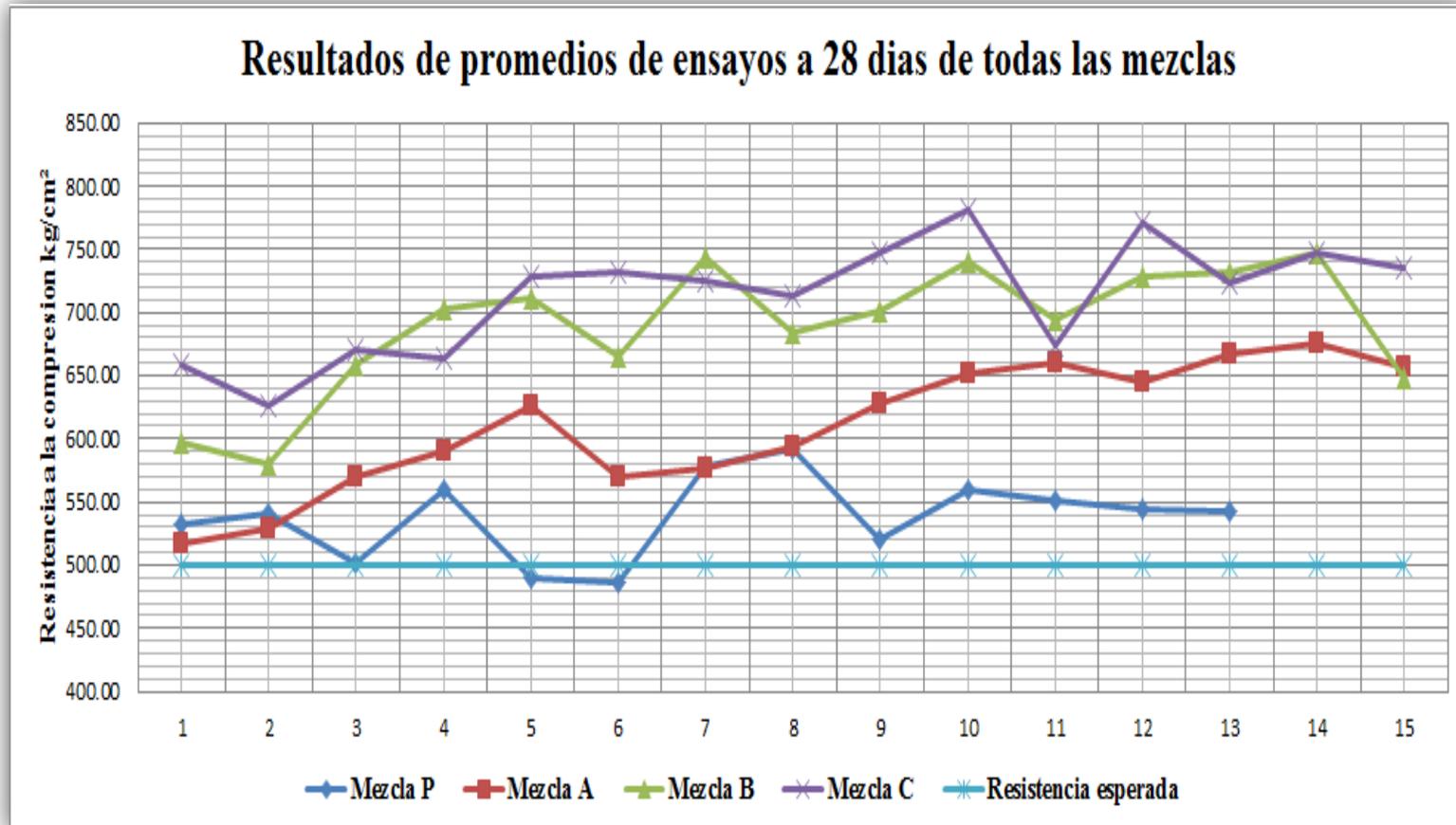
En la Tabla N° 5.18, se puede observar el porcentaje de ganancia de resistencia de la Mezcla C, a los 28 días de estudio con respecto al promedio del resultado de los ensayos de la mezcla patrón a los 28 días el cual es 538 kg/cm², donde se puede apreciar que de los 15 promedios elaborados todos ellos son superior a la mezcla P, de igual manera en el porcentajes alcanzado con respecto a la mezcla P todos los promedios son superiores al 100%, cabe recalcar que el rango de porcentaje alcanzado con respecto a la mezcla patrón fue de 108% a 139%.

Tabla N° 5.18: Resultados de promedios de ensayo a 28 días de edad de mezcla con 17 % de microsilíce (Mezcla C)

MEZCLA	BACHADA	RELACIÓN AGUA/CEMENTANTES	RESULTADO DE PROMEDIO DE 3 ENSAYOS kg/cm ²	PROMEDIO DE MEZCLA PATRÓN A 28 DÍAS kg/cm ²	% ALCANZADO CON RESPECTO A MEZCLA P
C	1	0.44	659	538	122
C	1	0.44	627	538	116
C	1	0.44	670	538	125
C	2	0.44	664	538	123
C	2	0.44	729	538	135
C	2	0.44	732	538	136
C	2	0.44	725	538	135
C	2	0.44	714	538	133
C	3	0.44	748	538	139
C	3	0.44	781	538	145
C	3	0.44	675	538	125
C	3	0.44	771	538	143
C	3	0.44	724	538	134
C	3	0.44	748	538	139
C	3	0.44	736	538	137

FUENTE: Los autores.

Figura N° 5.2: Grafico que nos muestra los resultados de la resistencia promedio a la compresión de todas las mezclas a los 28 días de edad.



FUENTE: Los autores.

- ✓ **Resultados de fallas que se dieron en la ruptura de especímenes a los 7 y 28 días de estudio.**

En la Tabla N° 5.19 se pueden presentar las fallas más comunes que se dieron a la hora de la ruptura de los especímenes a las edades de 7 y 28 días, las cuales se pueden observar en la norma ASTM C-39, ensayo estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Tabla N° 5.19: Fallas de especímenes a compresión a los 7 y 28 días

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	FALLA MÁS COMÚN A LOS 7 DÍAS	FALLA MÁS COMÚN A LOS 28 DÍAS
Patrón	0	Tipo 3 y 5	Tipo 3 y 5
A	7 %	Tipo 3 y 5	Tipo 3 y 5
B	12 %	Tipo 3 y 5	Tipo 3 y 5
C	17 %	Tipo 3 y 5	Tipo 3 y 5

FUENTE: Los autores.

Como se puede observar en la Tabla N° 5.19, las fallas más comunes son: el tipo 4 y 5, que según la norma ASTM C-39, la falla tipo 4 es una fractura diagonal; la falla tipo 5 es una fractura en los lados superior o inferior. Pero esto no quiere decir que no se presentaron las demás fallas (ver Anexo 5)

5.2.3.2 Resultados de Resistencia a la Flexión a los 28 días

Como se observa en la sección 3.5.1.7 de este documento donde se especifica la norma, la cual nos indicará el procedimiento a seguir para la realización del ensayo de flexión a vigas de concreto, dichos resultados los presentamos en la Tabla N° 5.20 y se muestran los cálculos de los ensayos realizados en el Anexo 4.

Tabla N° 5.20: Resultados de resistencia a la flexión.

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	ESPÉCIMEN	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)	MÓDULO DE RUPTURA PROMEDIO (kg/cm ²)	AUMENTO DEL MÓDULO DE RUPTURA RESPECTO A LA MEZCLA PATRÓN (%)*
P	0	1	66.19	64.2	0
P	0	2	61.06		
P	0	3	64.63		
P	0	4	65.08		
A	7	1	64.56	65.93	2.63
A	7	2	68.39		
A	7	3	67.65		
A	7	4	63.12		
B	12	1	74.51	66.14	2.96
B	12	2	62.25		
B	12	3	64.73		
B	12	4	63.08		
C	17	1	64.20	67.10	4.45
C	17	2	70.58		
C	17	3	75.91		
C	17	4	57.70		

*Para el análisis de aumento del módulo de ruptura se tomó como referencia la mezcla patrón como un 100%

FUENTE: Los autores.

Los resultados obtenidos en el ensayo de flexión, indican que el módulo de ruptura aumenta de manera significativa con el aumento de microsíllice en la mezcla patrón como

se observa en la Tabla N° 5.20. Sí se coloca a la mezcla un 7% de adición de microsílíce el módulo de ruptura respecto a la mezcla patrón se ve incrementado en un 2.6% aproximadamente; 12% de adición de microsílíce a la mezcla de concreto de alta resistencia le proporciona un aumento de 3% aproximadamente en función de la mezcla patrón; la microsílíce le genera un incremento de 4.5% en el módulo de ruptura respecto a la mezcla patrón cuando se le adiciona 17%.

5.2.3.3 Resultado de Módulo de Elasticidad

Como se puede observar en la sección 3.5.1.7 de este documento donde se especifica la norma la cual indicará el procedimiento a seguir para la realización del ensayo de módulo de elasticidad, dichos resultados se presentan en la Tabla N° 5.21.

Tabla N° 5.21: Resultados de módulo de elasticidad.

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	VALORES DE MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	AUMENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD RESPECTO A LA MEZCLA PATRÓN (%)*
P	0	521575	490038	0
P	0	458501		
A	7	542944	538099	9.81
A	7	533254		
B	12	573991	559990	14.28
B	12	545989		
C	17	567273	598249	22.08
C	17	629225		

*Para el análisis de aumento del módulo de elasticidad se tomó como referencia la mezcla patrón como un 100%

FUENTE: Los autores.

Como se observa en la Tabla N° 5.21, los resultados obtenidos en el ensayo del módulo de elasticidad, tomando como referencia la mezcla patrón muestran un incremento significativo con la adición de la microsílíce a dicha mezcla. Un 7% de adición de microsílíce a la mezcla Patrón le incrementa un 9.8% aproximadamente su módulo de elasticidad respecto a la mezcla Patrón; Sí se adiciona un 12% de microsílíce se genera un incremento de 14% aproximadamente del módulo de elasticidad; La microsílíce adicionada en un 17% a la mezcla de concreto de alta resistencia le genera un incremento en el módulo de elasticidad de 22% aproximadamente respecto a la mezcla Patrón.

En el Anexo 2, se muestran los cálculos de cada ensayo que se realizaron, para determinar el módulo de elasticidad.

5.2.3.4 Resultados de Pesos Volumétricos en Estado Endurecido.

A continuación se presentan los resultados de pesos volumétricos en estado endurecido obtenidos de las vigas de concreto las cuales se utilizaron para el ensayo de módulo de ruptura. Los resultados se presentan en la Tabla N° 5.22

Tabla N° 5.22: Resultados de peso volumétrico en estado endurecido.

MEZCLA	PORCENTAJE DE MICROSÍLICE	ESPÉCIMEN	PESO VOLUMÉTRICO (kg/m ³)	PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (kg/m ³)	REDUCCIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO RESPECTO A LA MEZCLA PATRÓN (%)*
P	0	1	2220	2291	0
P	0	2	2300		
P	0	3	2330		
P	0	4	2310		
A	7	1	2320	2276	0.65
A	7	2	2260		
A	7	3	2230		
A	7	4	2270		
B	12	1	2210	2261	1.31
B	12	2	2240		
B	12	3	2290		
B	12	4	2310		
C	17	1	2160	2237	2.36
C	17	2	2320		
C	17	3	2260		
C	17	4	2220		

*Para el análisis de la disminución del peso volumétrico en estado endurecido se tomó como referencia la mezcla patrón como un 100%

FUENTE: Los autores.

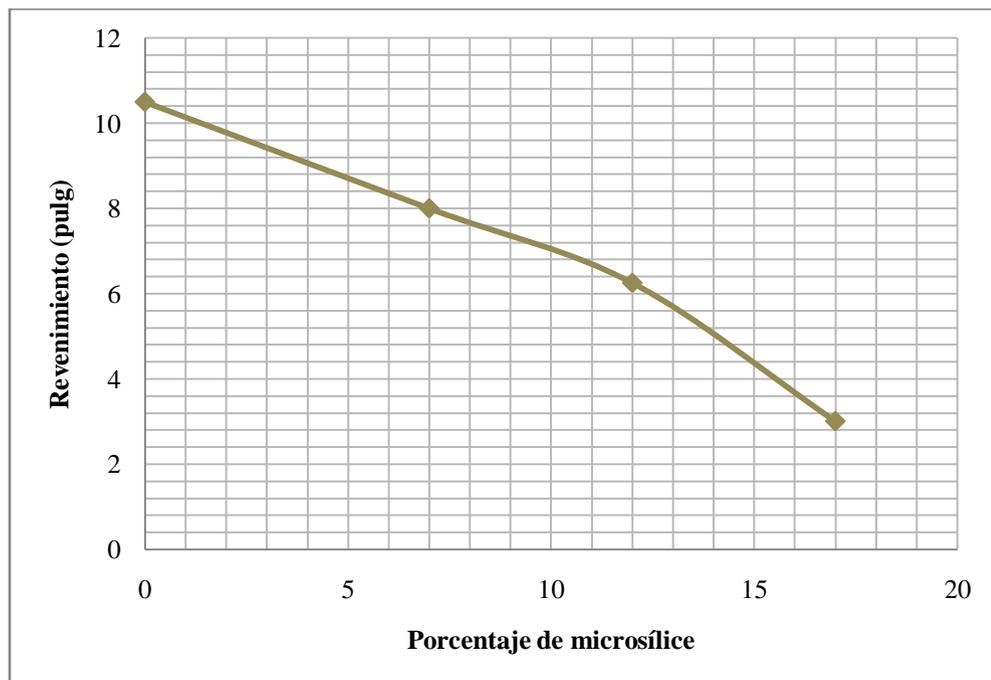
En la Tabla N° 5.22, se muestran los resultados obtenidos del peso volumétrico en estado endurecido dichos resultados reflejan que a medida se incrementa el porcentaje de adición de microsíllice este parámetro tiende a disminuir. Cuando a la mezcla se le adiciona un 7% de microsíllice se produce un decremento del peso volumétrico en un 0.6% aproximadamente; un 12% de adición de microsíllice a la mezcla Patrón le genera una disminución en el peso volumétrico en estado endurecido de aproximadamente 1.3%; la adición de un 17% de microsíllice genera una disminución de 2.4% aproximadamente respecto a la mezcla patrón.

5.2.3 CORRELACIONES DE LOS RESULTADOS

5.2.3.1 Correlación de Porcentaje de Adición de Microsílice versus Revenimiento.

La Figura N° 5.3, muestra que el incremento de microsílice en la mezcla de concreto genera una disminución de los valores medidos del revenimiento, esto se debe a que la microsílice es un material cementicio y por ende absorbe cierto porcentaje del agua de mezclado.

Figura N° 5.3: Correlación de porcentaje de adición de microsílice versus revenimiento.

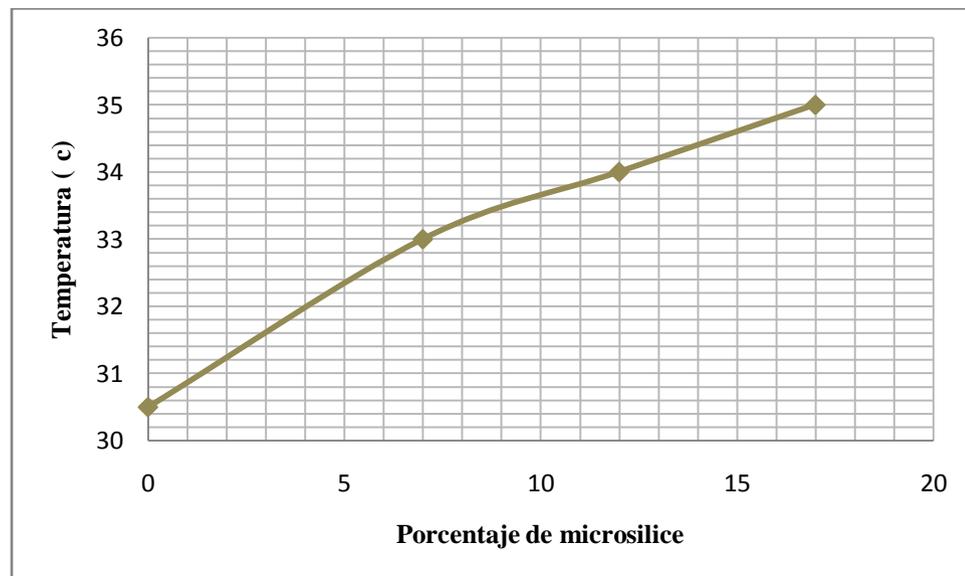


FUENTE: Los autores.

5.2.3.2 Correlación de Porcentaje de Adición de Microsílice versus Temperatura.

La adición de la microsíllice a la mezcla de concreto, le proporciona un incremento de temperatura significativo, esto se debe a que la microsíllice genera mayor calor de hidratación y por consiguiente un aumento en la temperatura, tal como se muestra en la Figura N° 5.4.

Figura N° 5.4: Correlación de porcentaje de adición de microsíllice versus temperatura.

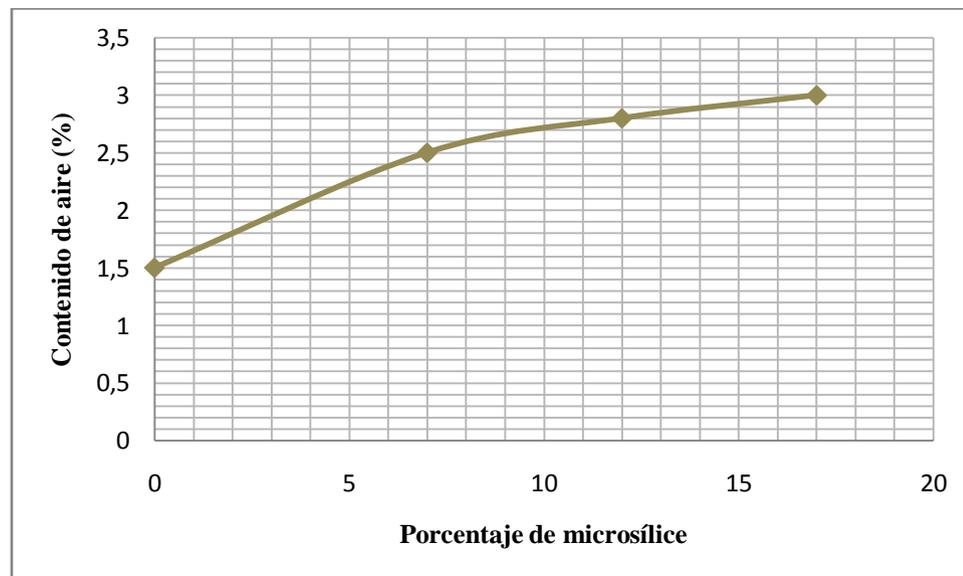


FUENTE: Los autores.

5.2.3.3 Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Contenido de Aire.

El aire que se encuentra en la mezcla de concreto se puede conocer por medio de la prueba del contenido de aire, en la Figura N° 5.5 se observa que con respecto a la mezcla patrón (la cual no contiene porcentaje de adición de microsílice), las mezclas que se les adicionaron microsílice muestran un incremento en su contenido de aire.

Figura N° 5.5: Correlación de porcentaje de adición de microsílice versus contenido de aire.

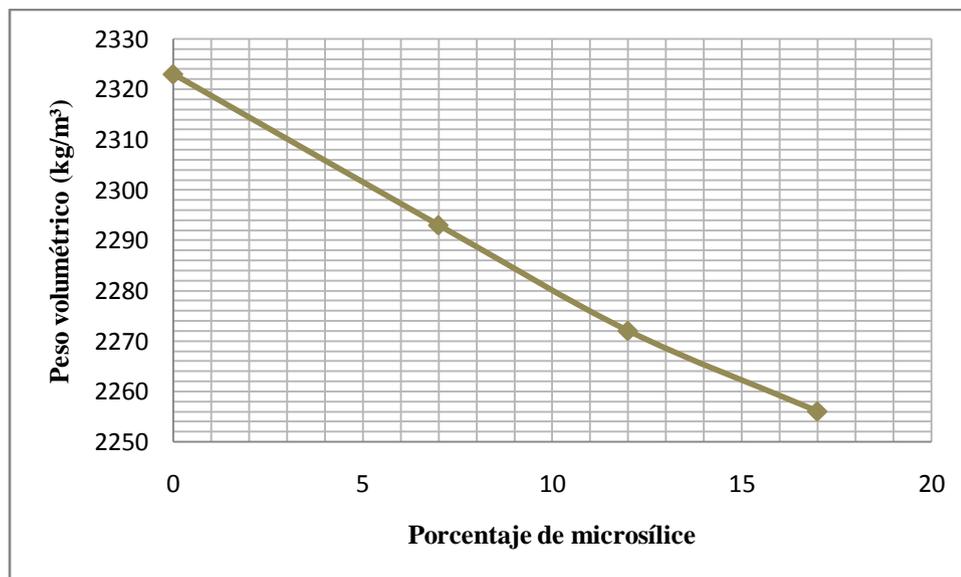


FUENTE: Los autores.

5.2.3.4 Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Peso Volumétrico en estado fresco.

El peso volumétrico de las mezclas de concreto, si se compara con la mezcla patrón las mezclas con adición de microsílice, se puede observar en la Figura N° 5.5 que a medida aumenta el porcentaje de microsílice, este disminuye en el peso volumétrico en estado fresco. Esta variación puede deberse a que el contenido de aire aumenta ver Figura N° 5.4.

Figura N° 5.6: Correlación de porcentaje de adición de microsílice versus peso volumétrico en estado fresco.

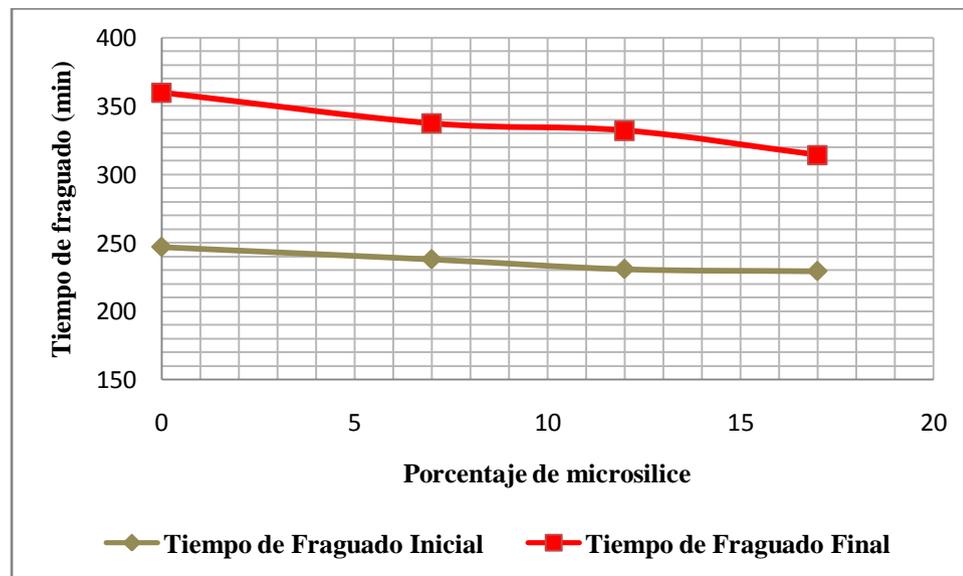


FUENTE: Los autores.

5.2.3.5 Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Tiempo de Fraguado.

A medida que se aumenta el porcentaje de la adición de microsílice en la mezcla de concreto, el tiempo de fraguado tanto final como inicial tiende a disminuir como se observa en la Figura N° 5.6, esto se puede deber a que la microsílice aporta mayor calor de hidratación a la mezcla de concreto.

Figura N° 5.7: Correlación de porcentaje de adición de microsílice versus tiempo de fraguado.

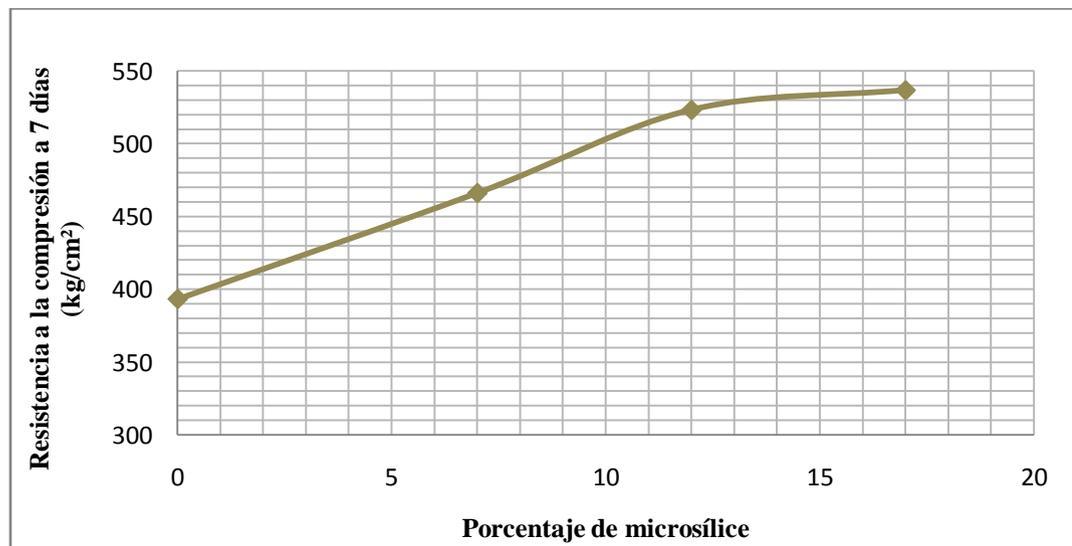


FUENTE: Los autores.

5.2.3.6 Correlación de porcentaje de adición de Microsílice versus Resistencia a la Compresión.

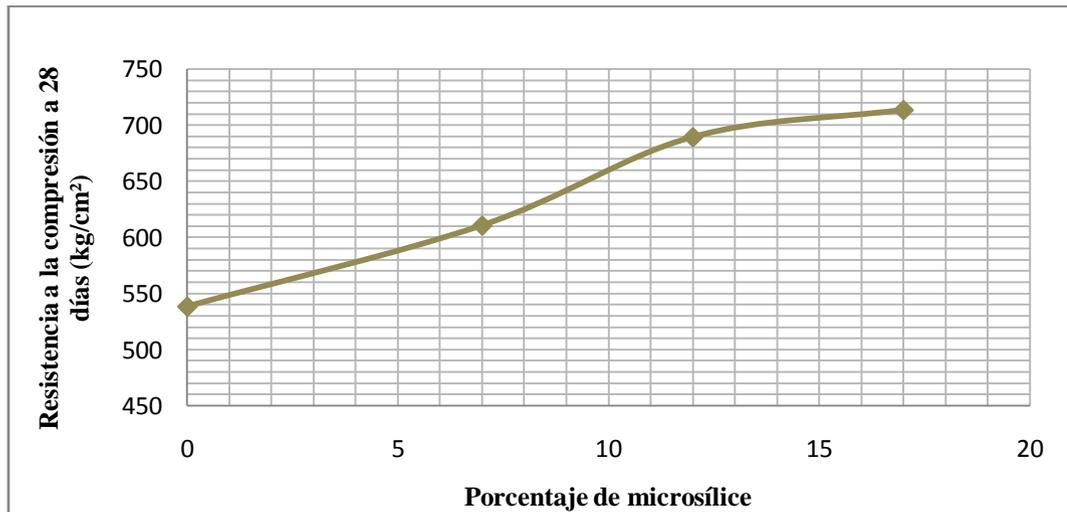
Unos de los parámetros más importantes en la investigación para verificar la influencia de la microsíllice en el concreto es la resistencia a la compresión, en las Figuras N° 5.7 y 5.8 se puede observar que a medida se incrementa el porcentaje de microsíllice a la mezcla de concreto, hay un aumento considerable en la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.

Figura N° 5.8: Correlación de porcentaje de adición de microsíllice versus resistencia a la compresión a los 7 días.



FUENTE: Los autores.

Figura N° 5.9: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus resistencia a la compresión a los 28 días.

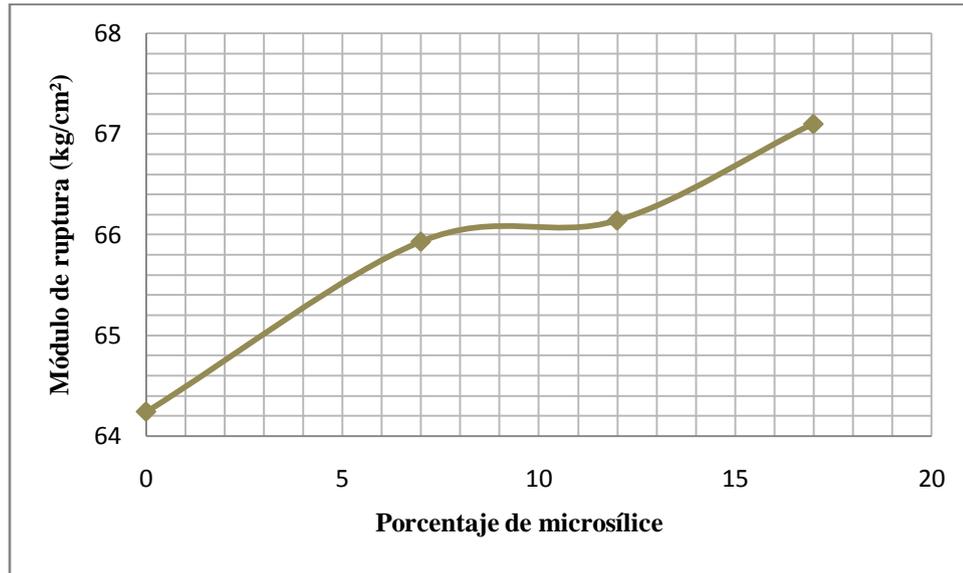


FUENTE: Los autores.

5.2.3.7 Correlación de porcentaje de adición de Microsílíce versus Resistencia a la Flexión.

Otro parámetro que en la investigación se considera importante para verificar la influencia de la microsílíce en las propiedades del concreto en estado endurecido, es la resistencia a la flexión, en la Figura N° 5.9 se ve que a medida la microsílíce va en aumento la resistencia a la flexión presenta un cambio poco considerable con respecto a la mezcla patrón.

Figura N° 5.10: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus resistencia a la flexión.

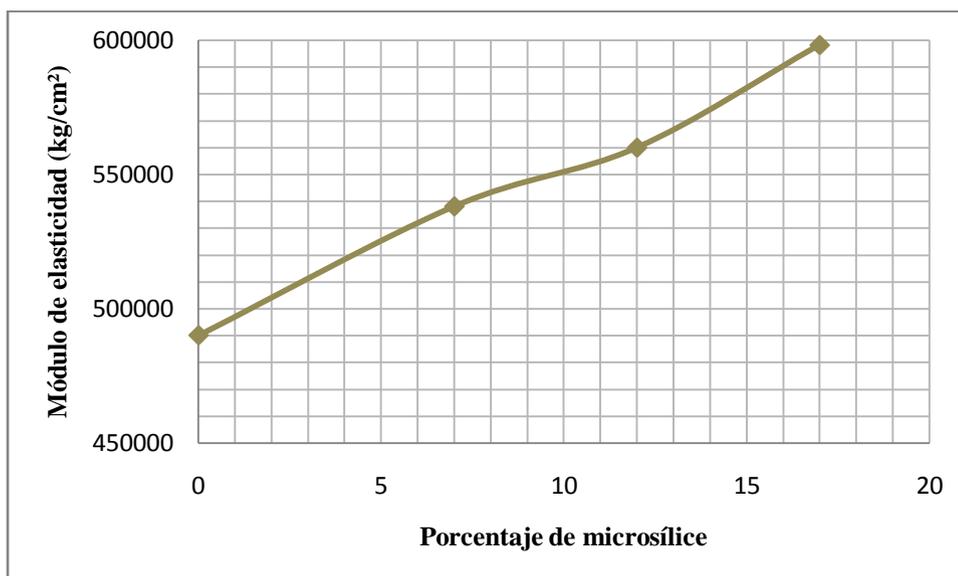


FUENTE: Los autores.

5.2.3.8 Correlación de porcentaje de adición de Microsílíce versus Módulo de Elasticidad.

En la Figura N° 5.10, ésta reflejado cuál es la variación del módulo de elasticidad respecto al aumento del porcentaje de adición de microsílíce, en esta investigación se logró determinar que el módulo de elasticidad presenta un incremento considerable a la adición de la microsílíce en la mezcla de concreto de alta resistencia.

Figura N° 5.11: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus módulo de elasticidad.

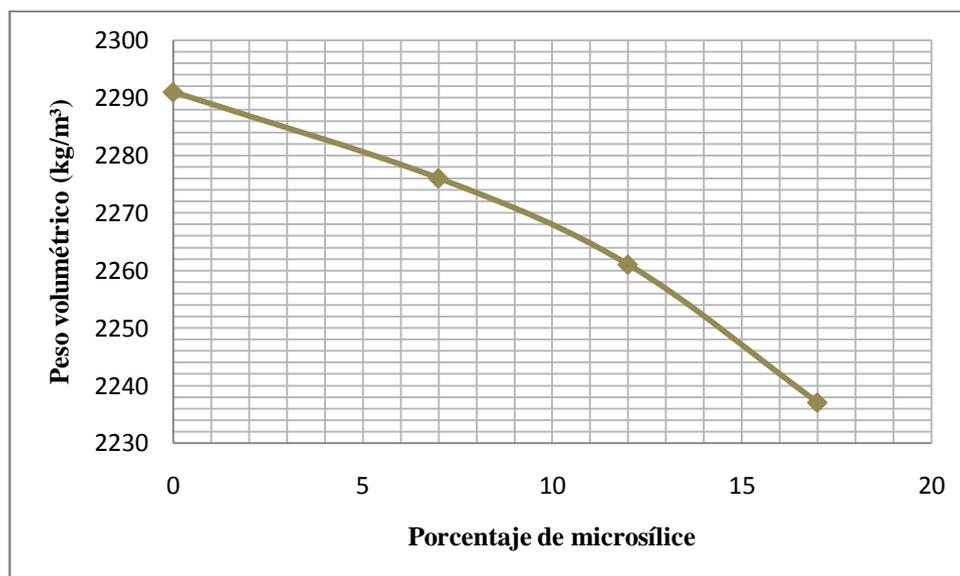


FUENTE: Los autores.

5.2.3.9 Correlación de porcentaje de adición de Microsílíce versus Peso Volumétrico en estado endurecido.

El peso volumétrico en estado endurecido se comporta de igual manera en estado fresco y endurecido, solo que en estado endurecido disminuye un poco por razones de que se presenta una evaporación en el agua de la mezcla. En la Figura N° 5.11 se observa la variación del peso volumétrico en estado endurecido y el porcentaje de adición de microsílíce.

Figura N° 5.12: Correlación de porcentaje de adición de microsílíce versus peso volumétrico en estado endurecido.

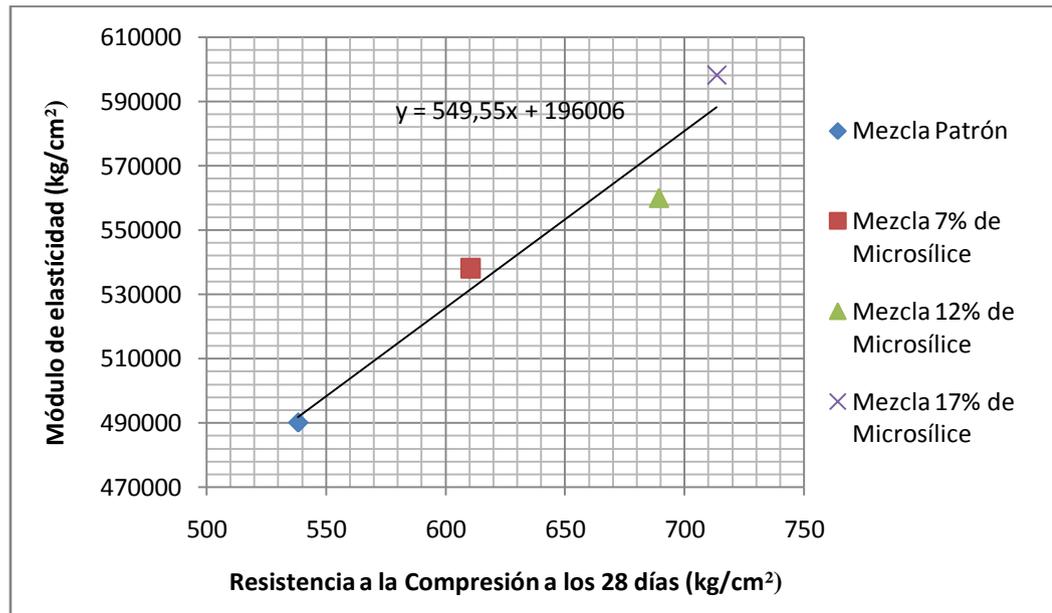


FUENTE: Los autores.

5.2.3.10 Correlación de Resistencia a la Compresión a los 28 días versus Módulo de Elasticidad.

En la Figura N° 5.12, se observa como varía el módulo de elasticidad respecto a la resistencia a la compresión a los 28 días, a medida aumenta dicho parámetro de resistencia el módulo de elasticidad presenta un aumento significativo. El incremento en resistencia a compresión y en el módulo de elasticidad se debe a la adición de la microsílíce en distintos porcentajes.

Figura N° 5.13: Correlación de resistencia a la compresión a los 28 días versus módulo de elasticidad.



FUENTE: Los autores

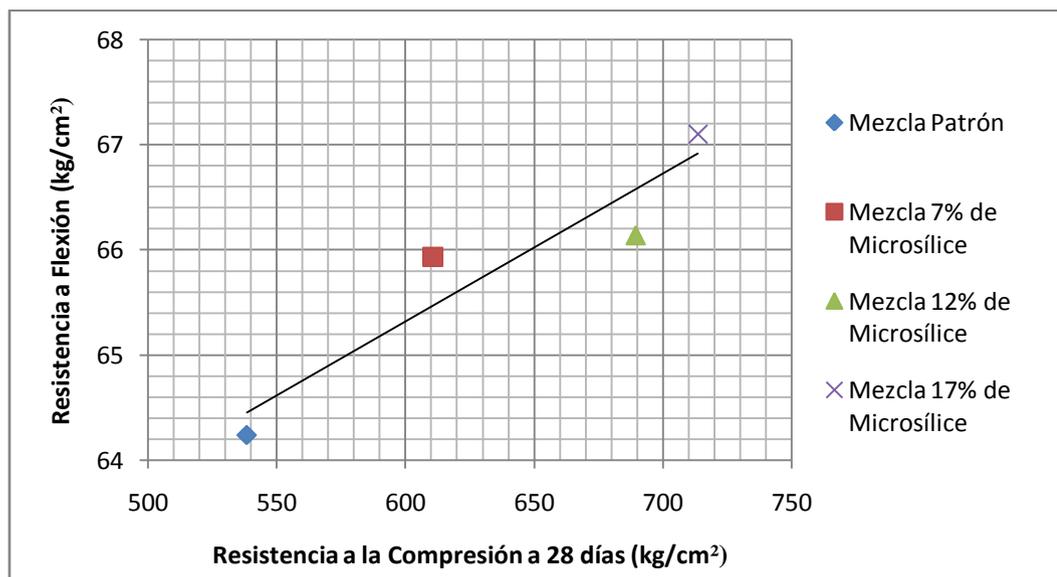
La siguiente ecuación representa la línea de tendencia que se genera cuando se correlaciona el módulo de elasticidad (E_c) en las unidades de kg/cm^2 y la resistencia a la compresión (f'_c) en las unidades de kg/cm^2 .

$$E_c = (549.55 \times f'_c) + 196006 \quad \text{Ecuación 5.1}$$

5.2.3.11 Correlación de Resistencia a la Compresión a los 28 días versus Resistencia a la Flexión.

La Figura N° 5.13 muestra que a medida se incrementa la resistencia a la compresión a los 28 días, el módulo de ruptura presenta un aumento. Esto se debe a la variación de la adición de microsílíce a las mezclas de concretos.

Figura N° 5.14: Correlación de resistencia a la compresión a los 28 días versus resistencia a la flexión.



FUENTE: Los autores

La siguiente ecuación se correlaciona el módulo de ruptura (M_r) en las unidades de kg/cm^2 y resistencia a la compresión a los 28 días (f'_c) en las unidades de kg/cm^2 y representa la tendencia de los parámetros antes mencionados.

$$M_r = (0.0141 \times f'_c) + 56.883 \quad \text{Ecuación 5.2}$$

CAPITULO

6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 INTRODUCCION

En el apartado que se muestra a continuación, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Primeramente se presentan las conclusiones obtenidas en las pruebas al concreto en estado fresco como son: revenimiento, temperatura, contenido de aire, peso volumétrico y tiempo de fraguado.

En la segunda parte de este capítulo se da a conocer las conclusiones obtenidas en la investigación al concreto en estado endurecido, entre las cuales tenemos: ensayo de resistencia a la compresión, ensayo de resistencia a la flexión, el ensayo de módulo de elasticidad y el peso volumétrico.

Como última parte de este capítulo se presentan las recomendaciones generadas por la investigación y destinadas a que sirvan como referencia para el uso de la microsílíce en el concreto de alta resistencia.

En este capítulo se le citará a la mezcla patrón como mezcla de referencia.

6.2 CONCLUSIONES

6.2.1 PRUEBAS AL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EN ESTADO FRESCO.

6.2.1.1 Ensayo de revenimiento

- ✓ El revenimiento propuesto para la mezcla de referencia fue de 8 a 11 pulgadas, que servirá de parámetro de comparación con las demás mezclas; las que se dosificaron con distintos porcentajes de microsílíce (7, 12 y 17%), resultando los valores de dicho ensayo en un rango de 10 a 11 pulgadas y con un valor promedio de 10 ½ pulgadas.
- ✓ Se concluye que la adición de la microsílíce en un porcentaje de 7%, proporcionó resultados que se encuentran en un rango de valores de revenimiento de 7 a 8 ½ pulgadas, respecto a la mezcla de referencia, obteniendo un valor promedio de 8 pulgadas, lo que equivale a 24% de reducción de su revenimiento promedio respecto a mezcla de referencia.
- ✓ Sí se adiciona un porcentaje de microsílíce de 12% a la mezcla de referencia el rango de valores de revenimiento se encuentra de 5 a 7 pulgadas con un valor

promedio de 6 ¼ pulgadas, presentando así una reducción del 40% de su revenimiento promedio respecto a la mezcla de referencia.

- ✓ Una adición de 17% de microsílíce a la mezcla referencia le proporciona un rango de valores de revenimiento de 2 ½ a 3 ½ pulgadas, obteniendo así un valor promedio de 3 pulgadas, si está se compara con la mezcla de referencia dicha mezcla presenta una disminución del 70% en su revenimiento promedio.
- ✓ Con los resultados obtenidos de revenimiento en la investigación se concluye, que la microsílíce tiene una influencia considerable en la reducción de dicho parámetro, esto se puede observar, ya que al tomar como referencia la mezcla con mayor porcentaje de adición (17% de microsílíce), le genera a la mezcla un porcentaje de reducción en su valor de revenimiento del 70%.

6.2.1.2 Ensayo de temperatura.

- ✓ La temperatura de la mezcla de referencia, se encuentra dentro del valor límite establecido en la norma ASTM C-94, el cual es de 32°C. En la investigación el rango de valores obtenidos para dicha mezcla fue de 29 a 32 °C con un valor promedio de 30.5°C.

- ✓ Adicionando a la mezcla de referencia 7% de microsílíce, ésta le produce un valor de temperatura en el rango de 31 a 34 °C, con un valor promedio de 33°C, lo cual equivale a un aumento en su temperatura respecto a la mezcla de referencia de 8%.

- ✓ Un 12% de adición de microsílíce le genera a la mezcla de concreto un rango de valores de temperatura de 32 a 35 °C, obteniendo un valor promedio de 34 °C, por tanto, dicha adición proporciona a la mezcla de concreto un aumento en su temperatura de 11.5% respecto a la mezcla de referencia.

- ✓ El rango de valores de temperatura obtenido con una adición de 17% de microsílíce es de 33 a 37 °C, obteniendo así un valor promedio de 35 °C, comparando el valor promedio obtenido de la mezcla de referencia y la mezcla que contiene un 17% de adición de microsílíce esto produce un aumento del 15% en su temperatura.

- ✓ Con los resultados obtenidos en el ensayo de temperatura para todas las mezclas se concluye, que la adición de microsílíce a la mezcla de referencia proporciona un incremento en su temperatura, esto debido a que la microsílíce genera mayor calor de hidratación, la cual se traduce en una elevación de la temperatura de la mezcla de concreto.

6.2.1.3 Ensayo de contenido de aire del concreto

- ✓ El contenido de aire de la mezcla de referencia varía en el rango de valores de 0.5 a 2.1%, resultando un valor promedio de 1.5%, adicionando a dicha mezcla un porcentaje de microsílíce de 7%, esto le produce un rango de valores en su contenido de aire de 2.1 a 2.8%, obteniendo un valor promedio de 2.5%, que equivale a 67% de aumento respecto a la mezcla de referencia.
- ✓ Un 12% de adición de microsílíce le provoca a la mezcla de referencia valores en su contenido de aire que se encuentra en el rango de 2.5 a 3%, resultando un valor promedio de 2.8%, sí se compara dicho valor promedio respecto a la mezcla de referencia el aumento en su contenido de aire es de 87%.
- ✓ Sí se adiciona a la mezcla de referencia un 17% de microsílíce, ésta le produce un rango de valores en su contenido de aire de 2.8 a 3.2%, resultando así un valor promedio de 3.0%, lo que equivale a un aumento de 100% respecto a la mezcla de referencia.
- ✓ Con los resultados obtenidos en la investigación de contenido de aire se concluye, que al adicionarle a la mezcla de concreto porcentajes de microsílíce dicho parámetro se ve incrementado.

6.2.1.4 Ensayo de peso volumétrico del concreto en estado fresco.

- ✓ El ensayo de peso volumétrico en estado fresco realizado a la mezcla de referencia proporcionó un resultado de valores que oscila en el rango de 2,309 a 2,335kg/m³ resultando un valor promedio de 2323 kg/m³.

- ✓ Un 7% de adición de microsílíce origina un rango de valores de 2284 a 2303 kg/m³ de su peso volumétrico, logrando un valor promedio de 2293 kg/m³, la reducción obtenida respecto a la mezcla de referencia para dicha mezcla fue de 1.30%.

- ✓ El rango de valores obtenidos para el peso volumétrico en estado fresco con una adición de microsílíce de 12% fue de 2264 a 2286 kg/m³, el valor promedio obtenido fue de 2272 kg/m³, generando así una disminución respecto a la mezcla de referencia de 2.20%.

- ✓ La adición de un 17% de microsílíce a la mezcla de referencia proporcionó un resultado en el rango de valores de 2243 a 2271 kg/m³, resultando un valor promedio de 2256 kg/m³, lo que genera una disminución del 2.90% en su peso volumétrico respecto a la mezcla de referencia.

- ✓ Con los resultados obtenidos del peso volumétrico en la investigación, se concluye que la adición de la microsílíce le genera a la mezcla de concreto una pequeña disminución en dicho parámetro, esto debido a los resultados obtenidos en el contenido de aire, estos resultados son mayores, por tanto le produce al peso volumétrico esa reducción.

6.2.1.5 Ensayo de tiempo de fraguado del concreto.

- ✓ El tiempo de fraguado tanto inicial como final para la mezcla de referencia resultó en un valor promedio de 247 y 360 minutos respectivamente.
- ✓ Adicionando 7% de microsílíce a la mezcla patrón los valores promedios obtenidos en el tiempo de fraguado tanto inicial como final fueron de 238 y 337 minutos respectivamente, por tanto sí se compara estos resultados con los de la mezcla de referencia se observa una disminución de 3.70% y 6.30% respectivamente.
- ✓ Los valores de tiempos de fraguado tanto inicial como final promedios obtenidos cuando se le adiciona a la mezcla patrón 12% de microsílíce fueron de 231 y 332 minutos respectivamente, comparando los tiempos de fraguado tanto inicial como

final de dicha mezcla con la mezcla de referencia se observa una disminución de 6.60% y 7.70% respectivamente.

- ✓ La mezcla con adición de 17% de microsílíce contiene un valor promedio de tiempo de fraguado inicial y final de 229 y 314 minutos respectivamente, el porcentaje de disminución de tiempo de fraguado inicial y final fue de 7.20 y 12.70% respectivamente, respecto a la mezcla de referencia.

- ✓ Los resultados de ésta investigación reflejan que a medida se aumenta la adición de microsílíce, el tiempo de fraguado tanto inicial como final presenta una reducción, que se debe a que la microsílíce produce un mayor calor de hidratación, traduciéndose en una elevación en la temperatura en la mezcla de concreto.

6.2.2 PRUEBAS AL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EN ESTADO ENDURECIDO

6.2.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión.

- ✓ La resistencia a compresión a 28 días de la mezcla de referencia de los 45 cilindros que se ensayaron se obtuvo un valor promedio de 538 kg/cm^2 , dicho valor cumple con lo establecido en los objetivos de la investigación, en los cuales se pretendía una resistencia superior a 500 kg/cm^2 .

- ✓ Con una adición de microsílíce de 7% se logró alcanzar un valor promedio de resistencia a la compresión a los 7 días de 466 kg/cm^2 , lo que representa un 86.60% respecto a la mezcla de referencia a los 28 días. Adicionando a la mezcla de referencia un porcentaje de microsílíce de 12% se alcanzó un valor promedio de 523 kg/cm^2 de resistencia a la compresión a los 7 días, lo que equivale una ganancia de resistencia de 97.22% respecto a la mezcla de referencia a los 28 días. Cuando se adiciona a la mezcla patrón un porcentaje de 17% de microsílíce ésta genera un valor de resistencia promedio de 537 kg/cm^2 , provocando una ganancia de resistencia respecto a la mezcla de referencia a los 28 días de 99.74%.

- ✓ La adición de 7% de microsílíce a la mezcla de referencia genera un valor de resistencia a la compresión a los 28 días de 611 kg/cm^2 en promedio, esto ocasiona un 13% de aumento con respecto a la mezcla de referencia.

- ✓ Sí a la mezcla de referencia se le adiciona 12% de microsílíce se obtiene un valor promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de 689 kg/cm^2 , generando una ganancia de resistencia respecto a la mezcla de referencia de 28%.

- ✓ Cuando se le adiciona a la mezcla de referencia 17% de microsílíce, proporciona un valor de resistencia a la compresión a los 28 días en promedio es de 714 kg/cm^2 , esto equivale a un incremento de 33% respecto a la mezcla de referencia.

- ✓ De los resultados obtenidos en la investigación de resistencia a la compresión se concluye, que a medida se incrementa la adición de microsílíce ésta genera un aumento de resistencia a la compresión.

- ✓ Considerando los resultados de resistencia a la compresión y revenimiento obtenidos en la investigación se concluye, que el porcentaje de adición más viable para la utilización de la microsílíce es de 12%, debido a que se obtuvo una ganancia de resistencia a compresión a los 28 días respecto a la mezcla que contiene 7% de microsílíce fue de 15%, y respecto a la mezcla de referencia fue

de 28%. Como también la trabajabilidad se considera adecuada, ya que el rango de valores de revenimiento fue de 5 a 7 pulgadas.

6.2.2.2 Ensayo de resistencia a la flexión.

- ✓ La resistencia a la flexión de la mezcla de referencia proporciona un rango de valores de 61.06 a 66.19 kg/cm², el valor promedio fue de 64.24 kg/cm².

- ✓ Adicionando 7% de microsílíce a la mezcla de referencia se obtuvo un rango de valores de 63.12 a 68.39 kg/cm², con un valor promedio de 65.93 kg/cm², esta presenta una ganancia en su módulo de ruptura de 2.6% respecto a la mezcla de referencia.

- ✓ Cuando se le adiciona a la mezcla de referencia 12% de microsílíce, ésta presenta un rango de valores de módulo de ruptura de 62.25 a 74.51 kg/cm², con un valor promedio de 66.14 kg/cm², esto equivale a una ganancia de resistencia a la flexión de 3% respecto a la mezcla de referencia.

- ✓ Sí a la mezcla de referencia se le adiciona 17% de microsílíce se pudo obtener un rango de valores de módulo de ruptura de 57.70 a 75.91 kg/cm², con un valor

promedio de 67.10 kg/cm^2 , sí este resultado se compara con la mezcla de referencia se tienen una ganancia de 4.5%.

- ✓ Con los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la flexión se puede concluir, que a medida se aumenta la adición de la microsílíce se observa un incremento en el módulo de ruptura.

6.2.2.3 Ensayo del módulo de elasticidad.

- ✓ El módulo de elasticidad de la mezcla de referencia presentó un valor promedio de $4.9 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, cuando se le adiciona a ésta mezcla 7% de microsílíce el valor obtenido de su módulo de elasticidad fue de $5.4 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, el cual equivale a una ganancia de su módulo de 9.8% respecto a la mezcla de referencia.
- ✓ Adicionando 12% de microsílíce a la mezcla de referencia se obtuvo un valor promedio de módulo de elasticidad de $5.6 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, generando una ganancia de su módulo respecto a la mezcla de referencia de 14.3%.

- ✓ Sí a la mezcla de referencia se le adiciona 17% de microsílíce se alcanza un valor promedio de $6.0 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$, produciendo un incremento en su módulo de elasticidad respecto a la mezcla de referencia de 22.10%.

- ✓ Con los resultados obtenidos en la investigación de módulo de elasticidad se concluye que el incremento de microsílíce en los porcentajes de 7, 12 y 17% le genera a la mezcla un incremento en su módulo de elasticidad.

6.2.3 CORRELACIONES

6.2.3.1 Correlación de resistencia a la compresión a los 28 días versus resistencia a la flexión

- ✓ La correlación entre la resistencia a la compresión a los 28 días y la resistencia a la flexión, presenta una tendencia lineal la cual tiene como ecuación: $M_r = (0.0141 \times f'_c) + 56.883$, siendo M_r el módulo de ruptura en kg/cm^2 y f'_c la resistencia a la compresión a los 28 días en kg/cm^2 .

6.2.3.2 Correlación de resistencia a la compresión a los 28 días versus módulo de elasticidad.

- ✓ La tendencia que se presenta cuando se grafica la resistencia a la compresión a los 28 días y el módulo de elasticidad, es lineal y la ecuación que la rige es la siguiente: $E_c = (549.55 \times f'c) + 196006$, siendo E_c el módulo de elasticidad en kg/cm^2 y $f'c$ la resistencia a la compresión de los 28 días en kg/cm^2 .

6.3 RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que a la hora de seleccionar los agregados para la elaboración de las mezclas, estos sean de la misma cantera para que el concreto tenga las mismas características y el diseño no se vea afectado, a la vez que este cumpla con los requisitos de calidad de la norma ASTM C-33 y que los agregados contengan la menor cantidad de materiales no deseados.
- ✓ A la hora de emplear el procedimiento de diseño de mezclas expuesto por el comité ACI 211.4R-93, se debe de tener cuidado ya que este sólo es una guía de diseño de mezclas de concreto de alta resistencia, por ello se recomienda realizar pruebas previas a las mezclas diseñadas con dicho comité o realizar los ajustes necesarios a la mezcla de concreto, ya sean ajustes por agregados o por cemento,

con el fin de tener la mezcla lo más aceptable de acuerdo a las necesidades de cada uno, así evitar resultados no deseados.

- ✓ Sí se requiere trabajar con porcentajes de adición de microsílíce mayores a 12%, se recomienda que para obtener una trabajabilidad adecuada, se recurra a una dosificación de aditivo superplastificante mayor a la que se utilizó en esta investigación.
- ✓ En base a los resultados obtenidos en la investigación se recomienda, que el porcentaje más factible de adición de microsílíce es de 12% (tomando en cuenta que la mezcla contiene una dosificación de superplastificante de 800 ml por cada 100 kg de cemento), debido a que con dicha mezcla se logra una trabajabilidad adecuada y una ganancia de resistencia de 150 kg/cm² aproximadamente respecto a la mezcla de referencia.
- ✓ Se logró observar en la investigación que al trabajar con la microsílíce la temperatura aumenta notoriamente superando los 32°C, por lo cual se recomienda que a la hora de utilizar cualquier porcentaje de microsílíce como adición o sustitución de cemento, es necesario tener un control adecuado en dicho parámetro, como por ejemplo darle un curado oportuno a la estructura para evitar agrietamientos.

- ✓ Cuando se requiera utilizar microsílíce, se debe de tener un cuidado especial en el tiempo de fraguado, ya que se produce una reducción de este, por lo que se debe tener un curado oportuno.

- ✓ Se recomienda que a la hora de ensayar los cilindros a compresión, se tome en cuenta el acabado superficial, por consiguiente es necesario cabecear los especímenes con un mortero especial de azufre y no utilizar almohadillas de neoprene, esto con el fin de evitar fluctuaciones en los resultados que se obtengan.

- ✓ Para observar de mejor manera cómo influye la adición de microsílíce en algunos parámetros del concreto en estado endurecido como son: resistencia a la flexión y módulo de elasticidad, se recomienda realizar una cantidad mayor de especímenes de los que se realizaron en esta investigación, para lograr mejores resultados.

- ✓ Se recomienda mantener el curado bajo agua a una misma temperatura hasta la fecha que se realice el ensayo, ya que los concretos de alta resistencia son muy susceptibles a los cambios de temperatura.

- ✓ Es recomendable que se realice una investigación, que evalué un análisis beneficio-costo de la mezcla de concreto con la adición de la microsílíce, para estudiar qué tan factible es el uso de la microsílíce en concretos de alta resistencia, considerando la parte económica.

- ✓ Se recomienda el uso de protección adecuada a la hora de utilizar la microsílíce en concretos, ya que ésta puede generar daños en la salud de los usuarios (ver Anexo 5).

GLOSARIO

- ✓ **Adición:** Material inorgánico finamente dividido, utilizado en el concreto para mejorar ciertas propiedades o lograr propiedades especiales. Existen dos tipos de adiciones inorgánicas: adiciones inertes (Tipo I) y adiciones hidráulicas latentes o puzolánicas (Tipo II).
- ✓ **Aditivo HRWR (Highrangewaterreducing):** Aditivo superplastificante reductor de agua de mezclado de alto rango.
- ✓ **Aleación:** Es una mezcla homogénea, de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal.
- ✓ **Bachada:** Cantidad de materiales mezclados, que en cada ciclo produce una revolvedora o planta mezcladora.
- ✓ **Cemento hidráulico:** Material con características cementantes o aglutinantes que reacciona con agua y es usado para unir entre sí todos los agregados para producir concreto hidráulico.
- ✓ **Clinker:** Caliza cocida.
- ✓ **Cohesión:** Identificada con el esfuerzo de cedencia, representa la resistencia que la mezcla opone para deformarse e iniciar el flujo del concreto.
- ✓ **Componentes del concreto:** Son aquellos materiales que en conjunto constituyen el concreto, los cuales básicamente son agregados (arena y grava) y pasta (cemento Pórtland y agua); los aditivos y adiciones son incluidos en la mezcla como componentes especiales.

- ✓ **Concreto de alta resistencia:** según el ACI un concreto de alta resistencia es aquel que alcanza una resistencia igual o superior a 500 Kg/cm^2 a los 28 días, las mezclas de este tipo de concreto se deben diseñar partiendo de una relación agua/cemento baja, para poder alcanzar altas resistencias.
- ✓ **Concreto endurecido:** El concreto se encuentra en este estado cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentoso producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto.
- ✓ **Concreto fresco:** Mezcla de concreto recién elaborada, la cual es una masa plástica que puede ser moldeada con relativa facilidad, y que a temperatura normal de prueba permanece en ese estado durante pocas horas. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el principio de la rigidez del mismo.
- ✓ **Consistencia:** Es una medida de la trabajabilidad referida a la movilidad y la compactación del concreto, en términos de la apariencia que exhibe al ser manipulada y expresada con base en resultados de alguna prueba específica.
- ✓ **C-S-H:** silicato de calcio hidratado.
- ✓ **Curado:** Procedimiento para mantener en el concreto, los contenidos de humedad y temperatura en condiciones satisfactorias, durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.
- ✓ **Filler:** Material fino, compuesto por arena molida y seca.

- ✓ **Grava triturada:** Producto resultante de una trituración artificial de la grava, donde la mayoría de las partículas poseen por lo menos una cara resultante de la fractura.
- ✓ **Gravedad específica:** La razón de la masa de un volumen de material (incluyendo los vacíos permeables e impermeables, pero excluyendo los vacíos entre partículas), a una temperatura establecida, con la masa de un volumen igual de agua destilada a una temperatura establecida.
- ✓ **Humo de sílice:** Microsílice
- ✓ **Mezclado:** Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos.
- ✓ **Microsílice:** Según el ACI 116R la microsíllice se define como un “muy fino y no cristalino sílice producido en horno de arco eléctrico, como un subproducto de la producción de silicio o de aleaciones elementales que contienen silicio; también es conocido como humo de sílice condensado o humo de sílice”
- ✓ **Mortero:** La fracción de concreto consistente en la pasta junto con los agregados de tamaño inferior a 4.75 mm (malla N° 4).
- ✓ **Permeabilidad:** Se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando esta se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias.

- ✓ **Puzolana:** Silicatos y alumino-silicatos, que por su cuenta poseen poco o ningún valor cementante pero que, finamente divididos y en presencia de humedad, reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar componentes que poseen propiedades cementantes.
- ✓ **Relación agua/cemento (A/C):** La razón de la cantidad de agua en peso, excluyendo solo aquella absorbida por los agregados, a la cantidad en peso de cemento en la pasta aglutinante.
- ✓ **Reología:** Examina el comportamiento del concreto y en general de los cuerpos sólidos, líquidos e intermedios entre ambos estados, que se deforman y fluyen por efecto de las fuerzas que actúan en ellos, es decir cuerpos que tienen cierta plasticidad.
- ✓ **Segregación:** La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas de agregado, causando una falta de uniformidad en su distribución.
- ✓ **Trabajabilidad del concreto:** Es la propiedad que determina el esfuerzo necesario para manipular, una cantidad de mezcla fresca de concreto con la mínima pérdida de homogeneidad.
- ✓ **Viscosidad:** Es una medida de la resistencia de un material para fluir debido a la fricción interna (y es la relación de esfuerzo aplicado respecto a la tasa de corte).

BIBLIOGRAFIA

Libros de Texto:

- ✓ P-C. AÍTCIN, “Concreto de Alto Desempeño”, Universidad de Sherbrook, Quebec, Canadá (2006).

- ✓ S.H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W.C. Panarese, and J. Tanesi. “Diseño y Control de Mezclas de Concreto”. Asociación del Cemento Portland (PCA). (2004).

- ✓ Comisión Federal de Electricidad (CFE); “Manual de Tecnología del Concreto”. Tomo I, II y III; Instituto de Ingeniería Universidad Autónoma de México (UNAM), Editorial Limusa. México D.F., México. (1994).

- ✓ Germán González – Isabel, Ingeniero Técnico de O. P. “Hormigón de Alta Resistencia”. Instituto técnico de materiales y construcciones (INTEMAC 1993).

- ✓ Instituto mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), “Aditivos superfluidificante para concreto”. Editorial Limusa, Primera edición. México (1990).

Trabajos de graduación:

- ✓ Reina Cardoza, Juan Carlos y otros; “Influencia de la tasa de aditivo superplastificante, en las propiedades del concreto de alta resistencia en estado fresco y endurecido”. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES). San Salvador, El Salvador. (2010).

- ✓ Vilca Aranda, Patricia, “Obtención del concreto de alta resistencia” Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la universidad nacional de ingeniería. (2008).

- ✓ García Rojas, José Eduardo y otros; “Análisis experimental del uso de un aditivo reductor de agua de alto rango y retardante, para el control de la consistencia y resistencia del concreto hidráulico utilizado en carreteras”. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad de El Salvador (UES). San Salvador, El Salvador. (2009).

- ✓ MoratayaCórdova, Carlos Eduardo, “Concreto de alta resistencia experimentación en Guatemala”. Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad San Carlos de Guatemala.

Revistas técnicas:

- ✓ Revista del Instituto Salvadoreño del Cemento y del Concreto (ISCYC), Año 12, N° 45, Antiguo Cuscatlán, El Salvador. (2007).
- ✓ Revista de los hormigones de alto desempeño primera parte (INECY), instituto ecuatoriano del cemento y de hormigón (2011).
- ✓ Revista El concreto en la práctica ,información Técnica preparada por la nationalreadymixed concrete association, 900 silverspring

Comités:

- ✓ ACI 211.1-91 (2002): “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete”.
- ✓ ACI 211.4-93 (1998): “Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete with Portland Cement and Fly Ash”.
- ✓ ACI 363R-92 (1997):“Report on High-Strength Concrete”
- ✓ ACI 363.2-98 (1998): “Guide to Quality Control and Testing of High-Strength Concrete”.
- ✓ ACI 234R-06 (2006):” Guide for the use of silica fume in concrete”.

Normas:

- ✓ ASTM C29/C29M-97(2003): “Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate”.
- ✓ ASTM C33-03: “Standard Specifications for Concrete Aggregates”.
- ✓ ASTM C39/C39M-05: “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”.
- ✓ ASTM C40-99: “Standard Test Method for Organic Impurities in Fines Aggregates for Concrete”.
- ✓ ASTM C94/C94M-03: “Standard Specifications for Ready - Mixed Concrete”.
- ✓ ASTM C125-02: “Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates”.
- ✓ ASTM C127-01: “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate”.
- ✓ ASTM C128-01: “Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate”.
- ✓ ASTM C136-01: “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates”.
- ✓ ASTM C138/C138-01a: “Standard Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete”.
- ✓ ASTM C143/C143M-00: “Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete”.

- ✓ ASTM C150-02a: “Standard Specification for Portland Cement”.
- ✓ ASTM C172-99: “Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete”.
- ✓ ASTM C192/C192M-02: “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory”.
- ✓ ASTM C231-97: “Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method”.
- ✓ ASTM C403/C403M-99: “Standard Test Method for Time of Setting of Concrete”.
- ✓ ASTM C469-02: “Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression¹”.
- ✓ ASTM C595-07: “Standard Specification for Blended Hydraulic Cements”.
- ✓ ASTM C617-98 (2003): “Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens”.
- ✓ ASTM C684-99 (2003): “Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens”.
- ✓ ASTM C702-98: “Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size”.
- ✓ ASTM C1602/C1602M-06: “Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete”.
- ✓ ASTM C1064/C1064M-01: “Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic Cement Concrete”.
- ✓ ASTM C1157-02: “Standard Performance Specification for Hydraulic Cement”.

- ✓ ASTM D75-03: “Standard Practice for Sampling Aggregates”.
- ✓ ASTM C1240-03: “Standard specification of use of silica fume”.

Otras fuentes:

- ✓ Folletos de clase: “Tecnología del Concreto”. Ingra. Lesly Emidalia Mendoza Mejía. Universidad de El Salvador. E.S. (2011).
- ✓ Silica fume user’s manual, silica fume association (2005).

ANEXOS

ANEXO 1:

HOJA TECNICA DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE "EUCON 37"

EUCON 37

REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO SUPERPLASTIFICANTE

DESCRIPCIÓN

EUCON 37 es un aditivo reductor de agua de alto rango. Puede ser dosificado al concreto en la obra o en la planta de concreto premezclado. No contiene cloruros adicionados en su formulación; por lo tanto se recomienda para concreto pretensado. Es también compatible con agentes inclusores de aire, impermeabilizantes, cloruro de calcio y muchos otros aditivos; sin embargo, cada material debe ser agregado al concreto por separado.

APLICACIONES PRINCIPALES

- Concreto de alto comportamiento.
- Concreto premezclado en general.
- Concreto fuertemente reforzado.
- Concreto para losas y concreto masivo.
- Concreto con baja relación agua/cemento.
- Concreto fluido de alto revenimiento.

BENEFICIOS

- Produce concreto de bajo contenido de agua y con baja relación agua/cemento, permitiendo lograr resistencias más altas.
- Produce concreto fluido con resistencias más altas que las normales.
- Ayuda a la colocación del concreto y reduce costos de mano de obra.
- Cuando se utiliza en elementos prefabricados, con cemento Tipo CPC 40 Y CPC 40 R tendrá como resultado resistencias altas a edades tempranas.

ESPECIFICACIONES/NORMAS

- Cumple por completo con los requerimientos de ASTM C-494, aditivos Tipo Ay F.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Resultados Típicos de Ingeniería

Los siguientes resultados fueron obtenidos en condiciones de laboratorio.

Resistencia a la compresión, % del Testigo

	Especificación, % del testigo	Testigo	Mezcla con Eucon 37
1 día	Min 140	100	169.7
3 días	Min 125	100	161.4
7 días	Min 115	100	151.8
28 días	Min 110	100	153.8
6 meses	Min 100	100	151.4



EUCLID CHEMICAL

The Euclid Chemical Company
01 800 8 EUCLID, Centro (55) 5864 9970
Norte (81) 8048 0810, Occidente (33) 3633 6031
www.eucomex.com.mx



Sistema de Calidad Certificado
ISO 9001:2000
ULA12147

Resistencia a la Flexión, % del Testigo

	Especificación, % del testigo	Testigo	Mezcla con Eucon 37
3 días	Min 110	100	144.2
7 días	Min 100	100	126.2
28 días	Min 100	100	117.1

Factor de Durabilidad Relativo

	Especificación, % del testigo	Testigo	Mezcla con Eucon 37
Mínimo	80%	97.93%	96.79%

Pérdida de Revenimiento

El concreto tratado con **EUCON 37** retiene su consistencia plástica de 30 a 60 minutos después de ser dosificado, dependiendo de los revenimientos iniciales y finales y las dosificaciones. Se puede agregar **EUCON 37** en la planta de concreto premezclado o en la obra manualmente o con dosificadores de campo. Utilice **EUCON 537** para reemplazar a **EUCON 37** cuando coloque concreto en climas cálidos (>32°C).

Pérdida de Revenimiento Típica a 21°C

Revenimiento inicial	Rev. después de 30 min
216 mm	178 mm
241 mm	203 mm

APARIENCIA

EUCON 37 es un líquido fluido marrón oscuro, el cual, cuando se agrega al concreto no cambia la apariencia natural del concreto.

INSTRUCCIONES DE USO

Agregue **EUCON 37** al agua de mezcla, en las 2/3 partes. No debe entrar en contacto con el cemento seco.

Concreto de Alta Resistencia

Dosificación - Ponga todo el material de concreto, en el orden correcto, en la mezcladora con aproximadamente un 70% de agua de mezclado y mezcle durante cinco (5) minutos ó 70 revoluciones. Agregue cuidadosamente el agua adicional para obtener el revenimiento necesario y mezcle durante otros tres (3) minutos.

Dosifique **EUCON 37** a razón de 600 mL - 1800 mL / 100 Kg de cemento.

Estas mezclas de baja relación agua/cemento pueden ser colocadas a revenimientos de 152-229 mm.

Concreto Convencional

Ponga todo los materiales para el concreto en el orden correcto en la mezcladora y mezcle durante cinco (5) minutos ó 70 revoluciones para lograr una mezcla de revenimiento típico de 76 mm. Agregue **EUCON 37** y mezcle durante un (1) minuto adicional.

Dosificación - Utilícelo a razón de 375-500 mL/100 kg de cemento.

El revenimiento inicial generalmente está entre 51-76 mm. Estas mezclas, con una relación agua/cemento de 0.45 - 0.50 con frecuencia se utilizan para pisos y losas, en las que se requiere minimizar el contenido de agua, retracción y agrietamiento.

Concreto Fluido

Ponga todo el material de concreto en el orden correcto en la mezcladora y mezcle durante cinco (5) minutos ó 70 revoluciones para lograr una mezcla de revenimiento típico de 76 mm. Agregue **EUCON 37** y mezcle durante otros tres (3) minutos.

Nota: Para mayor información sobre este producto dirjase al Departamento de Atención a Clientes The Euclid Chemical Company México o a su Asesor Técnico - Comercial en la Región. Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los substratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previas a su empleo en gran escala. The Euclid Chemical Company se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo. La única garantía sobre los productos Euclid, fabricados o comercializados por The Euclid Chemical Company, se describe en la página 1 de este catálogo.

Esta ficha técnica anula y sustituye a todas las versiones anteriores
y tiene vigencia a partir del 1 de Junio de 2009 y vence el 31 de Mayo del 2010

Dosificación - Utilice **EUCON 37** a razón de 625-750 mL/100kg de cemento sobre un concreto de revenimiento convencional (76 mm) para lograr una mezcla fluida. Las proporciones del diseño de mezcla deben basarse en la temperatura, tipo de cemento y la pérdida de revenimiento requerida. El siguiente cuadro muestra las cantidades aproximadas que se agregan para lograr un concreto fluido.

Revenimiento inicial En mm	Dosificación mL/100 Kg
102	500- 625
76	625- 750
64	750- 875
51	875 - 1000
38	1000 - 1125

Cuando diseñe mezclas para usarlas con **EUCON 37** siga las recomendaciones del ACI 211.1 y 211.2. Ajuste la proporción de los agregados para mantener la homogeneidad.

Colocación - El concreto tratado con **EUCON 37** puede ser colocado de la misma manera que el concreto convencional.

Cimbras

Las cimbras para las paredes o secciones angostas deben ser a prueba de agua, fuertes y estar bien afianzadas. Durante el "periodo de fluidez", cuando el concreto tiene un revenimiento de 178-229 mm, éste va a ejercer una mayor presión en la base de la cimbra que la que ejercería un concreto convencional. Las cimbras para losas son las mismas que las empleadas para el concreto convencional.

Curado y Sellado - Es muy importante seguir los procedimientos correctos para asegurar la durabilidad y calidad del concreto. Para prevenir fisuras de superficie cure las superficies planas con un compuesto de altos sólidos como **SUPER AQUA-CURE VOX** o **SUPER REZ-SEAL**.

ENVASE

- A Granel.
- Cubetas de 19 L.
- Tambores de 200 L.

Se recomienda mantener el aditivo siempre tapado en los envases que Euclid Chemical provee.

LIMPIEZA

Limpie con agua las herramientas y el equipo antes de que el material se endurezca.

PRECAUCIONES/RESTRICCIONES

- Se debe proteger el EUCON 37 contra el congelamiento.
- Se recomienda hacer diseños de mezcla, mezclas de prueba y losas de prueba dadas las variaciones en el cemento y agregados de cada lugar.
- No permita que el concreto se congele hasta que haya alcanzado una resistencia mínima de 70 kg/cm².
- Se utiliza EUCON 37 en muchos y diferentes diseños de mezcla. Se debe consultar con el Departamento de Ingeniería y el Departamento de Servicios Técnicos de Euclid Chemical cada vez que se tengan dudas respecto a su uso o compatibilidad con otros aditivos. Hay muchos exitosos diseños de mezcla archivados y pueden ser un excelente material de referencia cuando se está preparando un proyecto de diseño de mezcla.
- Se agrega a la mezcla independientemente de otros aditivos.



EUCLID CHEMICAL

The Euclid Chemical Company
01 800 8 EUCLID, Centro (55) 5864 9970
Norte (81) 8048 0810, Occidente (33) 3633 6031
www.eucomex.com.mx



Sistema de Calidad Certificado
ISO 9001:2000
ULA12147

- Los cambios en los tipos de cemento, agregados y la temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto variando resultados en el concreto fresco o endurecido. En coordinación con el Asesor Técnico Comercial Euclid-México de la región, es fundamental efectuar pruebas de desempeño de los aditivos bajo las condiciones propias de cada obra. De ésta manera, se podrá definir la solución que ofrezca un mejor costo-beneficio a nuestros clientes.
- Agite el producto antes de usar.
- El producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.

Vida útil: 24 meses en el envase original cerrado.

Nota: Para mayor información sobre este producto dirjase al Departamento de Atención a Clientes The Euclid Chemical Company México o a su Asesor Técnico - Comercial en la Región. Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los substratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previas a su empleo en gran escala. The Euclid Chemical Company se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo. La única garantía sobre los productos Euclid, fabricados o comercializados por The Euclid Chemical Company, se describe en la página 1 de este catálogo.

Esta ficha técnica anula y sustituye a todas las versiones anteriores
y tiene vigencia a partir del 1 de Junio de 2009 y vence el 31 de Mayo del 2010

ANEXO 2:

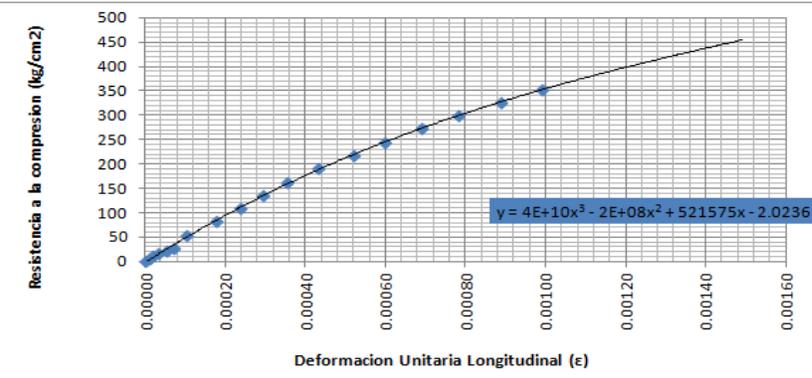
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL

CONCRETO SEGÚN LA NORMA ASTM C-469

MEZCLA PATRÓN

	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA" ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C-469)			
PROYECTO: <u>Trabajo de Graduación "Influencia del uso de Microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</u>	UBICACIÓN: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u>	REPORTE Nº: <u>1</u>		
ENSAYO Nº: <u>1</u>	MEZCLA: <u>PATRON</u>	HOJA Nº: <u>1</u>		
RESISTENCIA A COMPRESION PROMEDIO: <u>568.39 kg/cm²</u> AREA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>183.85 cm²</u> CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: <u>104500.00 kg</u> ALTURA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>30.43 cm</u>	CONDICIONES DE ENSAYO 15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: <u>15675 kg</u> 60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: <u>62700 kg</u> Factor de deformimetro: <u>0.01 mm</u>			
ESPECIMEN P-1				
CARGA (Kg)	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL		
		Lectura	(mm)	ε
0	0.0	0.0	0.0000	0.00000
1000	5.4	0.4	0.0040	0.00001
2000	10.9	0.6	0.0060	0.00002
3000	16.3	1.0	0.0100	0.00003
4000	21.8	1.6	0.0160	0.00005
5000	27.2	2.2	0.0220	0.00007
10000	54.4	3.2	0.0320	0.00011
15000	81.6	5.4	0.0540	0.00018
20000	108.8	7.2	0.0720	0.00024
25000	136.0	9.0	0.0900	0.00030
30000	163.2	10.8	0.1080	0.00035
35000	190.4	13.2	0.1320	0.00043
40000	217.6	15.8	0.1580	0.00052
45000	244.8	18.2	0.1820	0.00060
50000	272.0	21.0	0.2100	0.00069
55000	299.2	23.8	0.2380	0.00078
60000	326.3	27.0	0.2700	0.00089
65000	353.5	30.2	0.3020	0.00099

CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD



$y = 4E+10x^3 - 2E+08x^2 + 521575x - 2.0236$

RESULTADOS MODULO DE ELASTICIDAD

Determinación de esfuerzo a compresión S_1 :
 Deformación unitaria equivalente (ϵ_1) = $\frac{0.00005}{24.06} \text{ kg/cm}^2$

Determinación de deformación unitaria s_2 :
 Deformación unitaria equivalente (ϵ_2) = $\frac{0.00043978}{227.35} \text{ kg/cm}^2$
 40% de esfuerzo a compresion maximo(S_2) = 227.35 kg/cm^2

Calculo del modulo de elasticidad (E):

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} = 521575.1031 \text{ kg/cm}^2$$

OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"
 ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C-469)



Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"

PROYECTO: _____
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil
 ENSAYO Nº: 2
 MEZCLA: PATRON

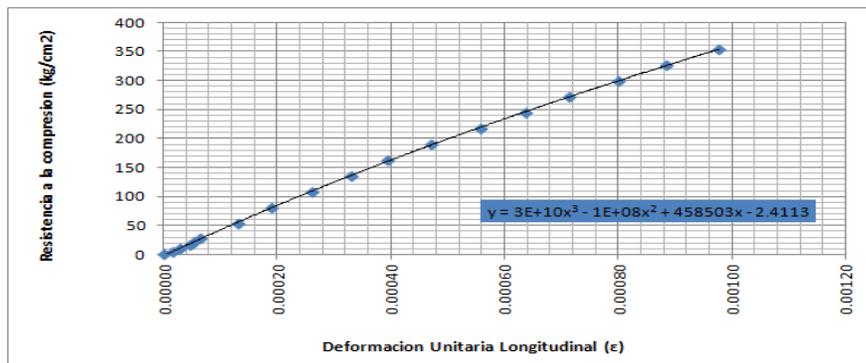
REPORTE Nº: 1
 HOJA Nº: 1
 FECHA: 24/07/2012

RESISTENCIA A COMPRESION PROMEDIO: 568.39 kg/cm²
 AREA PROMEDIO DE ESPECIMENES: 183.85 cm²
 CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: 104500.00 kg
 ALTURA PROMEDIO DE ESPECIMENES: 30.50 cm

CONDICIONES DE ENSAYO	
15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	15675 kg
60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	62700 kg
Factor de deformimetro	0.01 mm

ESPECIMEN P-2				
CARGA (Kg)	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL		
		Lectura	(mm)	ε
0	0.0	0.0	0.0000	0.00000
1000	5.4	0.5	0.0050	0.00002
2000	10.9	0.9	0.0090	0.00003
3000	16.3	1.4	0.0140	0.00005
4000	21.8	1.7	0.0170	0.00006
5000	27.2	2.0	0.0200	0.00007
10000	54.4	4	0.0400	0.00013
15000	81.6	5.8	0.0580	0.00019
20000	108.8	8.0	0.0800	0.00026
25000	136.0	10.1	0.1010	0.00033
30000	163.2	12.0	0.1200	0.00039
35000	190.4	14.4	0.1440	0.00047
40000	217.6	17.0	0.1700	0.00056
45000	244.8	19.4	0.1940	0.00064
50000	272.0	21.8	0.2180	0.00071
55000	299.2	24.4	0.2440	0.00080
60000	326.3	27.0	0.2700	0.00089
65000	353.5	29.8	0.2980	0.00098

CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD



RESULTADOS MODULO DE ELASTICIDAD

Determinación de esfuerzo a compresion S_1 :
 Deformacion unitaria equivalente (ϵ_1) = 0.00005
 $S_1 = \frac{0.00005}{20.51384} \text{ kg/cm}^2$

Determinación de deformacion unitaria ϵ_2 :
 Deformacion unitaria equivalente (ϵ_2) = 0.000501123
 40% de esfuerzo a compresion maximo (S_2) = 227.35436 kg/cm²

Calculo del modulo de elasticidad (E):
 $E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} = \frac{227.35436 - 0.00005}{0.000501123 - 0.00005} = 458501.3755 \text{ kg/cm}^2$

OBSERVACIONES: _____

MEZCLA "A" (7% DE MICROSÍLICE)

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA" ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C-469)</p>	
PROYECTO: <u>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</u>		REPORTE N°: <u>1</u>
UBICACIÓN: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingenieria Civil</u>		HOJA N°: <u>1</u>
ENSAYO N°: <u>1</u>		FECHA: <u>25/07/2012</u>
MEZCLA: <u>7% DE MICROSILICE</u>		

RESISTENCIA A COMPRESION PROMEDIO: <u>604.82 kg/cm²</u> AREA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>181.46 cm²</u> CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: <u>109750.00 kg</u> ALTURA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>30.50 cm</u>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">CONDICIONES DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <td>15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:</td> <td style="text-align: right;">16463 kg</td> </tr> <tr> <td>60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:</td> <td style="text-align: right;">65850 kg</td> </tr> <tr> <td>Factor de deformimetro</td> <td style="text-align: right;">0.01 mm</td> </tr> </table>	CONDICIONES DE ENSAYO		15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	16463 kg	60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	65850 kg	Factor de deformimetro	0.01 mm
CONDICIONES DE ENSAYO									
15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	16463 kg								
60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	65850 kg								
Factor de deformimetro	0.01 mm								

ESPECIMEN P-1				
CARGA (Kg)	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL		
		Lectura	(mm)	ε
0	0.0	0.0	0.0000	0.00000
1000	5.5	0.4	0.0040	0.00001
2000	11.0	0.6	0.0060	0.00002
3000	16.5	1.0	0.0100	0.00003
4000	22.0	1.4	0.0140	0.00005
5000	27.6	2.0	0.0200	0.00007
10000	55.1	3	0.0300	0.00010
15000	82.7	5.2	0.0520	0.00017
20000	110.2	7.0	0.0700	0.00023
25000	137.8	8.8	0.0880	0.00029
30000	165.3	10.6	0.1060	0.00035
35000	192.9	13.0	0.1300	0.00043
40000	220.4	15.6	0.1560	0.00051
45000	248.0	18.0	0.1800	0.00059
50000	275.5	20.8	0.2080	0.00068
55000	303.1	23.6	0.2360	0.00077
60000	330.7	26.8	0.2680	0.00088
65000	358.2	30.0	0.3000	0.00098
70000	385.8	34.2	0.3420	0.00112

CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD



RESULTADOS MODULO DE ELASTICIDAD

Determinación de esfuerzo a compresion S₂:

Deformacion unitaria equivalente (ε₁) = 0.00005
 S₂ = 25.90 kg/cm²

Determinación de deformacion unitaria ε₂:

Deformacion unitaria equivalente (ε₂) = 0.000447882
 40% de esfuerzo a compresion maximo(S₂) = 241.93 kg/cm²

Calculo del modulo de elasticidad (E):

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} = \mathbf{542944.0565 \text{ kg/cm}^2}$$

 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA" ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C-469)	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA" ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C-469)								
PROYECTO: <u>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</u> UBICACIÓN: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingenieria Civil</u> ENSAYO Nº: <u>2</u> MEZCLA: <u>7% DE MICROSILICE</u>	REPORTE Nº: <u>1</u> HOJA Nº: <u>1</u> FECHA: <u>25/07/2012</u>								
RESISTENCIA A COMPRESION PROMEDIO: <u>604.82 kg/cm²</u> AREA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>181.46 cm²</u> CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: <u>109750 kg</u> ALTURA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>30.43 cm</u>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">CONDICIONES DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <td>15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:</td> <td>16463 kg</td> </tr> <tr> <td>60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:</td> <td>65850 kg</td> </tr> <tr> <td>Factor de deformimetro</td> <td>0.01 mm</td> </tr> </table>	CONDICIONES DE ENSAYO		15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	16463 kg	60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	65850 kg	Factor de deformimetro	0.01 mm
CONDICIONES DE ENSAYO									
15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	16463 kg								
60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	65850 kg								
Factor de deformimetro	0.01 mm								
ESPECIMEN P-2									
CARGA (Kg)	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm²)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL							
		Lectura	(mm)	ε					
0	0.0	0.0	0.0000	0.00000					
1000	5.5	0.4	0.0040	0.00001					
2000	11.0	0.6	0.0060	0.00002					
3000	16.5	1.0	0.0100	0.00003					
4000	22.0	1.4	0.0140	0.00005					
5000	27.6	1.8	0.0180	0.00006					
10000	55.1	3.2	0.0320	0.00011					
15000	82.7	5.2	0.0520	0.00017					
20000	110.2	7.2	0.0720	0.00024					
25000	137.8	8.8	0.0880	0.00029					
30000	165.3	10.6	0.1060	0.00035					
35000	192.9	13.0	0.1300	0.00043					
40000	220.4	15.4	0.1540	0.00051					
45000	248.0	18.0	0.1800	0.00059					
50000	275.5	20.4	0.2040	0.00067					
55000	303.1	23.2	0.2320	0.00076					
60000	330.7	26.0	0.2600	0.00085					
65000	358.2	29.6	0.2960	0.00097					
70000	385.8	32.8	0.3280	0.00108					

CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD				
RESULTADOS MODULO DE ELASTICIDAD				
Determinación de esfuerzo a compresion S₁:				
Deformación unitaria equivalente (ε₁) = $\frac{0.00005}{25.67}$ **kg/cm²**				
Determinación de deformación unitaria ε₂:				
Deformación unitaria equivalente (ε₂) = $\frac{0.000455552}{241.93}$ **kg/cm²**				
40% de esfuerzo a compresion maximo(S₂)= **241.93 kg/cm²**				
Calculo del modulo de elasticidad (E):				
$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} = 533254.0065 \text{ kg/cm}^2$$				
OBSERVACIONES: _____				

MEZCLA "B" (12% DE MICROSÍLICE)



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C-469)

Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"

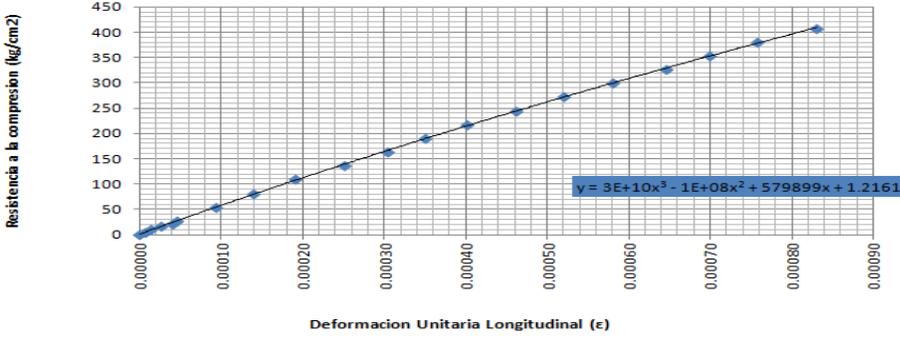
PROYECTO: _____
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingenieria Civil
 ENSAYO Nº: 1
 MEZCLA: 12% DE MICROSILICE

REPORTE Nº: 1
 HOJA Nº: 1
 FECHA: 26/07/2012

RESISTENCIA A COMPRESION PROMEDIO: <u>666.29 kg/cm²</u>	CONDICIONES DE ENSAYO 15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: <u>18375 kg</u> 60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: <u>73500 kg</u> Factor de deformimetro <u>0.01 mm</u>
AREA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>183.85 cm²</u>	
CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: <u>122500 kg</u>	
ALTURA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>30.33 cm</u>	

ESPECIMEN P-1				
CARGA (Kg)	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL		
		Lectura	(mm)	ε
0	0.0	0.0	0.0000	0.00000
1000	5.4	0.2	0.0020	0.00001
2000	10.9	0.4	0.0040	0.00001
3000	16.3	0.8	0.0080	0.00003
4000	21.8	1.2	0.0120	0.00004
5000	27.2	1.4	0.0140	0.00005
10000	54.4	2.8	0.0280	0.00009
15000	81.6	4.2	0.0420	0.00014
20000	108.8	5.8	0.0580	0.00019
25000	136.0	7.6	0.0760	0.00025
30000	163.2	9.2	0.0920	0.00030
35000	190.4	10.6	0.1060	0.00035
40000	217.6	12.2	0.1220	0.00040
45000	244.8	14.0	0.1400	0.00046
50000	272.0	15.8	0.1580	0.00052
55000	299.2	17.6	0.1760	0.00058
60000	326.3	19.6	0.1960	0.00065
65000	353.5	21.2	0.2120	0.00070
70000	380.7	23.0	0.2300	0.00076
75000	407.9	25.2	0.2520	0.00083

CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD



RESULTADOS MODULO DE ELASTICIDAD

Determinación de esfuerzo a compresion S_1 :

Deformacion unitaria equivalente (ϵ_1) = 0.00005

$S_1 =$ 30.21 kg/cm²

Determinación de deformacion unitaria ϵ_2 :

Deformacion unitaria equivalente (ϵ_2) = 0.000461687

40% de esfuerzo a compresion maximo (S_2) = 266.52 kg/cm²

Calculo del modulo de elasticidad (E):

$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} =$ 573991.1273 kg/cm²

OBSERVACIONES: _____



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"
ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C-469)

PROYECTO: Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil
 ENSAYO Nº: 2
 MEZCLA: 12% DE MICROSILICE

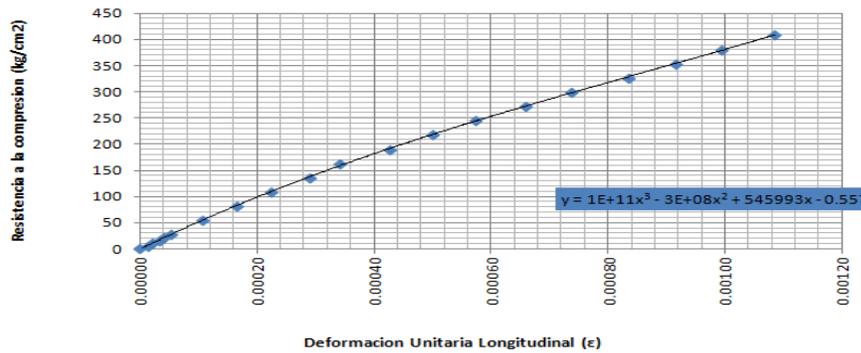
REPORTE Nº: 1
 HOJA Nº: 1
 FECHA: 26/07/2012

RESISTENCIA A COMPRESION PROMEDIO:	666.29 kg/cm ²
AREA PROMEDIO DE ESPECIMENES:	183.85 cm ²
CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	122500 kg
ALTURA PROMEDIO DE ESPECIMENES:	30.40 cm

CONDICIONES DE ENSAYO	
15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	18375 kg
60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	73500 kg
Factor de deformimetro	0.01 mm

ESPECIMEN P-2				
CARGA (Kg)	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL		
		Lectura	(mm)	ε
0	0.0	0.0	0.0000	0.00000
1000	5.4	0.4	0.0040	0.00001
2000	10.9	0.6	0.0060	0.00002
3000	16.3	1.0	0.0100	0.00003
4000	21.8	1.2	0.0120	0.00004
5000	27.2	1.6	0.0160	0.00005
10000	54.4	3.2	0.0320	0.00011
15000	81.6	5.0	0.0500	0.00016
20000	108.8	6.8	0.0680	0.00022
25000	136.0	8.8	0.0880	0.00029
30000	163.2	10.4	0.1040	0.00034
35000	190.4	13.0	0.1300	0.00043
40000	217.6	15.2	0.1520	0.00050
45000	244.8	17.4	0.1740	0.00057
50000	272.0	20.0	0.2000	0.00066
55000	299.2	22.4	0.2240	0.00074
60000	326.3	25.4	0.2540	0.00084
65000	353.5	27.8	0.2780	0.00091
70000	380.7	30.2	0.3020	0.00099
75000	407.9	33.0	0.3300	0.00109

CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD



RESULTADOS MODULO DE ELASTICIDAD

Determinación de esfuerzo a compresion S_2 :
 Deformacion unitaria equivalente (ϵ_1) = $\frac{0.00005}{}$
 $S_1 = 26.74 \text{ kg/cm}^2$

Determinación de deformacion unitaria ϵ_2 :
 Deformacion unitaria equivalente (ϵ_2) = $\frac{0.000489154}{}$
 40% de esfuerzo a compresion maximo (S_2) = 266.52 kg/cm^2

Calculo del modulo de elasticidad (E):
 $E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} = 545989.4626 \text{ kg/cm}^2$

OBSERVACIONES: _____

MEZCLA "C" (17% DE MICROSÍLICE)

	<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA" ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C-469)</p>									
<p>PROYECTO: <u>Trabajo de Graduación "Influencia del uso de Microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</u></p> <p>UBICACIÓN: <u>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</u></p> <p>ENSAYO Nº: <u>1</u></p> <p>MEZCLA: <u>17% DE MICROSÍLICE</u></p>	<p>REPORTE Nº: <u>1</u></p> <p>HOJA Nº: <u>1</u></p> <p>FECHA: <u>30/07/2012</u></p>									
<p>RESISTENCIA A COMPRESION PROMEDIO: <u>688.86 kg/cm²</u></p> <p>AREA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>181.46 cm²</u></p> <p>CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: <u>125000.00 kg</u></p> <p>ALTURA PROMEDIO DE ESPECIMENES: <u>30.40 cm</u></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">CONDICIONES DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <td>15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:</td> <td>18750 kg</td> </tr> <tr> <td>60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:</td> <td>75000 kg</td> </tr> <tr> <td>Factor de deformimetro</td> <td>0.01 mm</td> </tr> </table>		CONDICIONES DE ENSAYO		15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	18750 kg	60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	75000 kg	Factor de deformimetro	0.01 mm
CONDICIONES DE ENSAYO										
15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	18750 kg									
60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	75000 kg									
Factor de deformimetro	0.01 mm									
ESPECIMEN P-1										
CARGA (Kg)	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL								
		Lectura	(mm)	ε						
0	0.0	0.0	0.0000	0.00000						
1000	5.5	0.2	0.0020	0.00001						
2000	11.0	0.4	0.0040	0.00001						
3000	16.5	0.6	0.0060	0.00002						
4000	22.0	1.0	0.0100	0.00003						
5000	27.6	1.2	0.0120	0.00004						
10000	55.1	2.6	0.0260	0.00009						
15000	82.7	4.2	0.0420	0.00014						
20000	110.2	5.8	0.0580	0.00019						
25000	137.8	7.2	0.0720	0.00024						
30000	165.3	8.6	0.0860	0.00028						
35000	192.9	10.0	0.1000	0.00033						
40000	220.4	11.6	0.1160	0.00038						
45000	248.0	13.0	0.1300	0.00043						
50000	275.5	14.6	0.1460	0.00048						
55000	303.1	16.4	0.1640	0.00054						
60000	330.7	18.0	0.1800	0.00059						
65000	358.2	19.8	0.1980	0.00065						
70000	385.8	21.8	0.2180	0.00072						
75000	413.3	23.8	0.2380	0.00078						

CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD		
RESULTADOS MODULO DE ELASTICIDAD		
Determinación de esfuerzo a compresion S₁:		
Deformación unitaria equivalente (ε₁) = 0.00005		
S₁ = 31.56 kg/cm²		
Determinación de deformación unitaria ε₂:		
Deformación unitaria equivalente (ε₂) = 0.0004801		
40% de esfuerzo a compresion maximo(S₂) = 275.55 kg/cm²		
Calculo del modulo de elasticidad (E):		
E = $\frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)}$ = 567273.0385 kg/cm²		
OBSERVACIONES:		



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"
 ENSAYO DE MODULO DE ELASTICIDAD (ASTM C-469)



PROYECTO: Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y
 UBICACIÓN: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingenieria Civil
 ENSAYO Nº: 2
 MEZCLA: 17% DE MICROSILICE

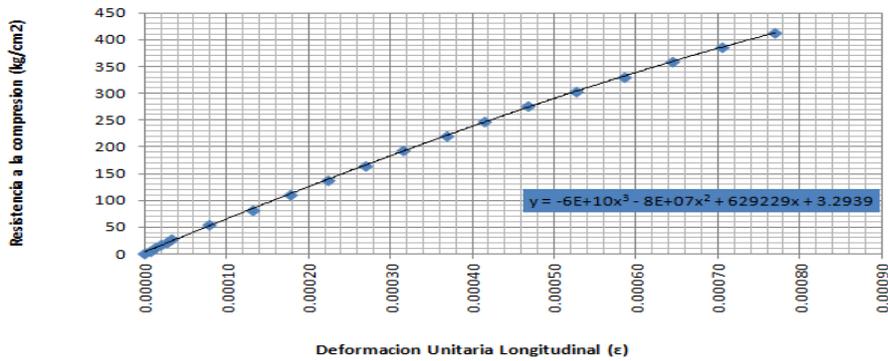
REPORTI
 HOJA Nº: 1
 FECHA: 30/07/2012

RESISTENCIA A COMPRESION PROMEDIO: 688.86 kg/cm²
 AREA PROMEDIO DE ESPECIMENAS: 181.46 cm²
 CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA: 125000 kg
 ALTURA PROMEDIO DE ESPECIMENAS: 30.40 cm

CONDICIONES DE ENSAYO	
15% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	18750 kg
60% CARGA AXIAL PROMEDIO MAXIMA:	75000 kg
Factor de deformimetro	0.01 mm

ESPECIMEN P-1					
CARGA (Kg)	RESISTENCIA A COMPRESION (kg/cm ²)	DEFORMACIÓN LONGITUDINAL			
		Lectura	(mm)	ε	
0	0.0	0.0	0.0000	0.00000	
1000	5.5	0.2	0.0020	0.00001	
2000	11.0	0.4	0.0040	0.00001	
3000	16.5	0.6	0.0060	0.00002	
4000	22.0	0.8	0.0080	0.00003	
5000	27.6	1.0	0.0100	0.00003	
10000	55.1	2.4	0.0240	0.00008	
15000	82.7	4.0	0.0400	0.00013	
20000	110.2	5.4	0.0540	0.00018	
25000	137.8	6.8	0.0680	0.00022	
30000	165.3	8.2	0.0820	0.00027	
35000	192.9	9.6	0.0960	0.00032	
40000	220.4	11.2	0.1120	0.00037	
45000	248.0	12.6	0.1260	0.00041	
50000	275.5	14.2	0.1420	0.00047	
55000	303.1	16.0	0.1600	0.00053	
60000	330.7	17.8	0.1780	0.00059	
65000	358.2	19.6	0.1960	0.00064	
70000	385.8	21.4	0.2140	0.00070	
75000	413.3	23.4	0.2340	0.00077	

CALCULO DE MODULO DE ELASTICIDAD



RESULTADOS MODULO DE ELASTICIDAD

Determinacion de esfuerzo a compresion S₁:
 Deformacion unitaria equivalente (ε₁) = 0.00005
 S₁ = 34.76 kg/cm²

Determinacion de deformacion unitaria ε₂:
 Deformacion unitaria equivalente (ε₂) = 0.000432677
 40% de esfuerzo a compresion maximo(S₂) = 275.55 kg/cm²

Calculo del modulo de elasticidad (E):

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)} = 629224.7375 \text{ kg/cm}^2$$

OBSERVACIONES:

ANEXO 3:

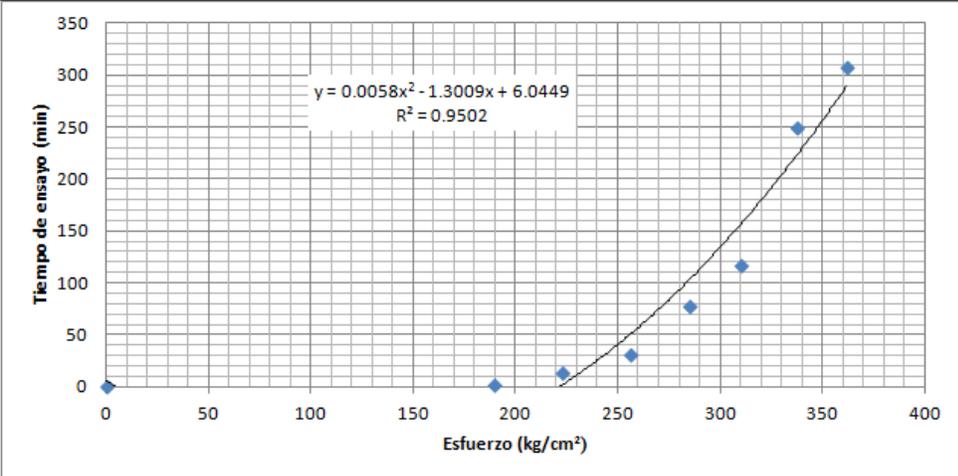
RESULTADOS DEL ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO EN EL

CONCRETO SEGÚN LA NORMA ASTM C-403

MEZCLA PATRÓN

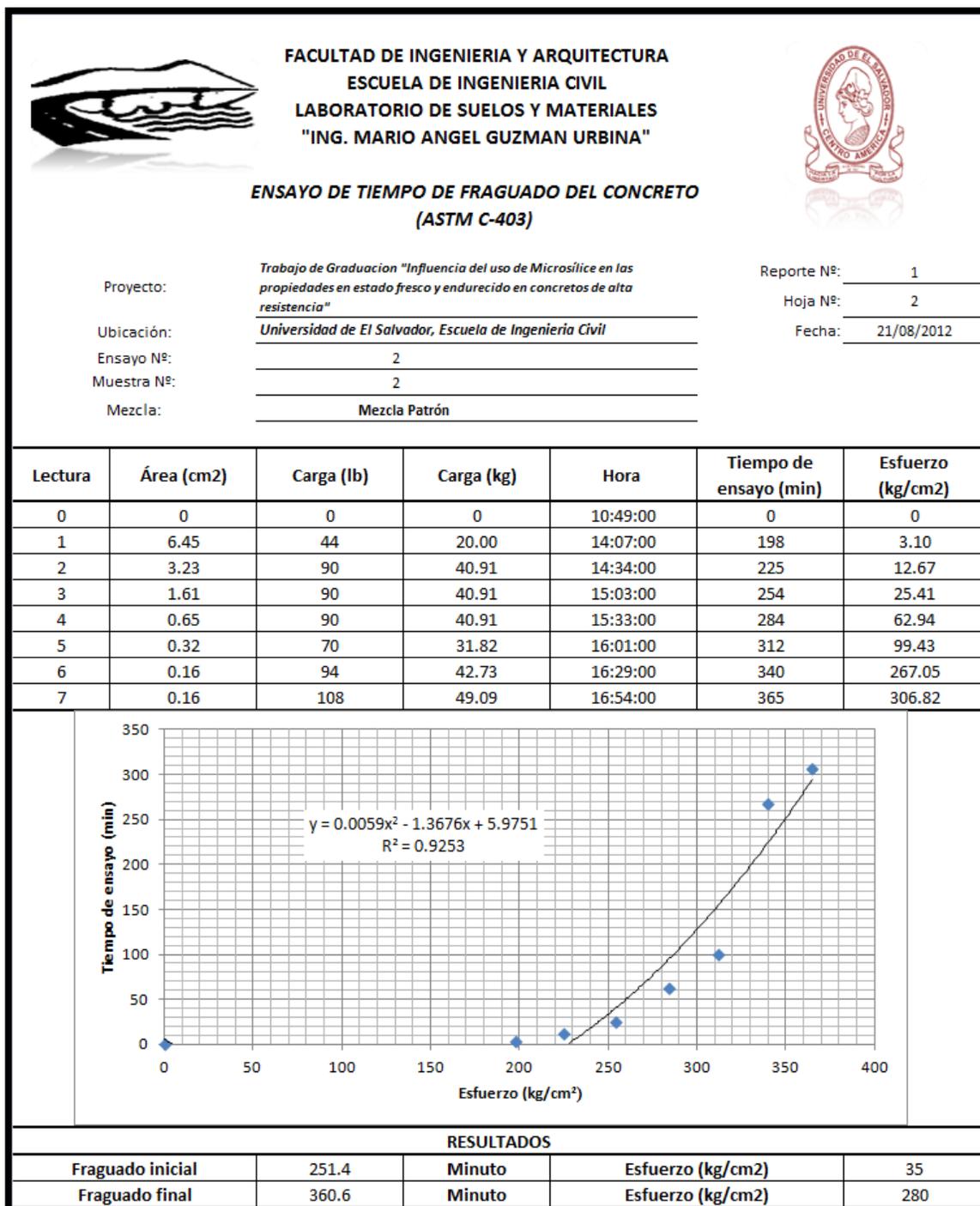
	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"	
ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO (ASTM C-403)		
Proyecto:	<i>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i>	Reporte Nº: 1
Ubicación:	<i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i>	Hoja Nº: 1
Ensayo Nº:	1	Fecha: 21/08/2012
Muestra Nº:	1	
Mezcla:	Mezcla Patrón	

Lectura	Área (cm ²)	Carga (lb)	Carga (kg)	Hora	Tiempo de ensayo (min)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0	0	10:49:00	0	0
1	6.45	18	8.18	13:59:00	190	1.27
2	3.23	98	44.55	14:32:00	223	13.79
3	1.61	110	50.00	15:05:00	256	31.06
4	0.65	112	50.91	15:34:00	285	78.32
5	0.32	82	37.27	15:59:00	310	116.48
6	0.16	88	40.00	16:27:00	338	250.00
7	0.16	108	49.09	16:51:00	362	306.82



$y = 0.0058x^2 - 1.3009x + 6.0449$
 $R^2 = 0.9502$

RESULTADOS				
Fraguado inicial	244.7	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	35
Fraguado final	356.8	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	280





FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO
 (ASTM C-403)**

Proyecto: Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Ensayo N°: 3

Muestra N°: 3

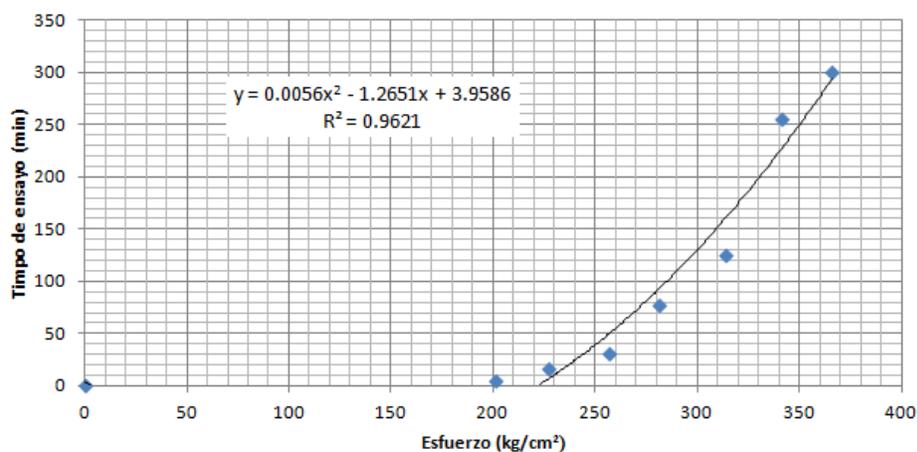
Mezcla: Mezcla Patrón

Reporte N°: 1

Hoja N°: 3

Fecha: 21/08/2012

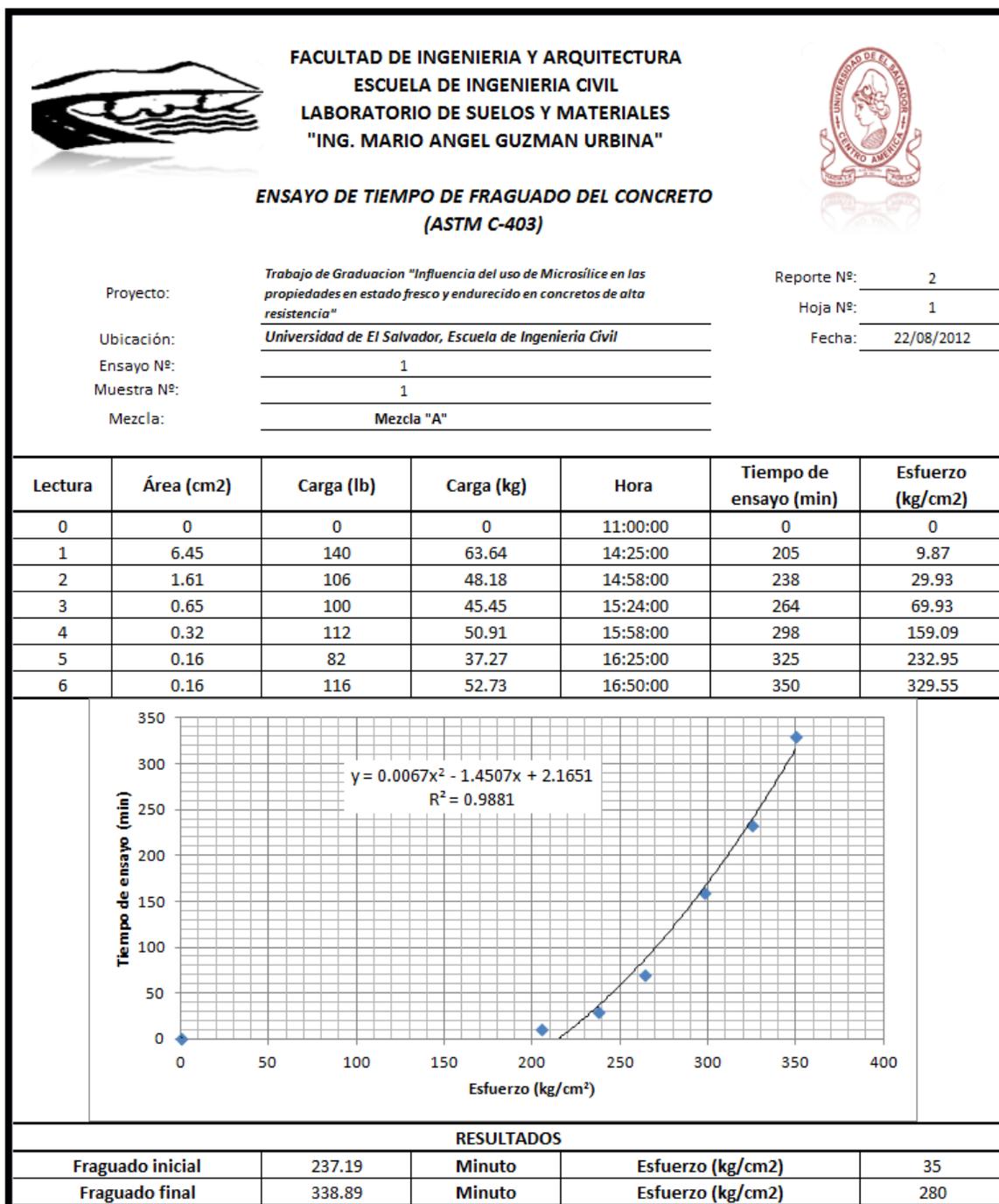
Lectura	Área (cm ²)	Carga (lb)	Carga (kg)	Hora	Tiempo de ensayo (min)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0	0	10:49:00	0	0
1	6.45	62	28.18	14:10:00	201	4.37
2	3.23	116	52.73	14:36:00	227	16.32
3	1.61	112	50.91	15:06:00	257	31.62
4	0.65	110	50.00	15:30:00	281	76.92
5	0.32	88	40.00	16:03:00	314	125.00
6	0.16	90	40.91	16:30:00	341	255.68
7	0.16	106	48.18	16:55:00	366	301.14

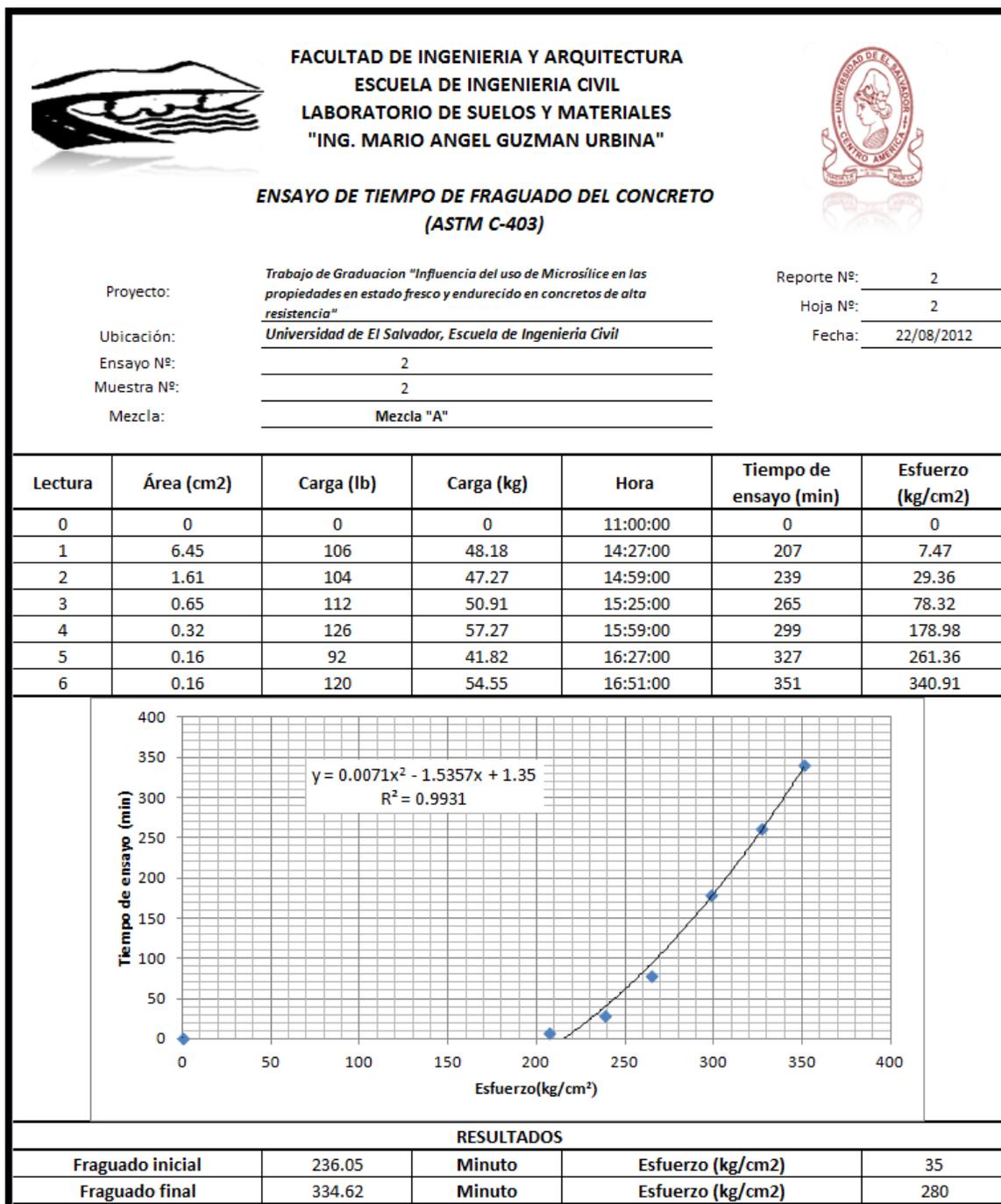


RESULTADOS

Fraguado inicial	244.9	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	35
Fraguado final	362.1	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	280

MEZCLA "A" (7% DE MICROSÍLICE)







FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO
 (ASTM C-403)**

Proyecto: Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Ensayo N°: 3

Muestra N°: 3

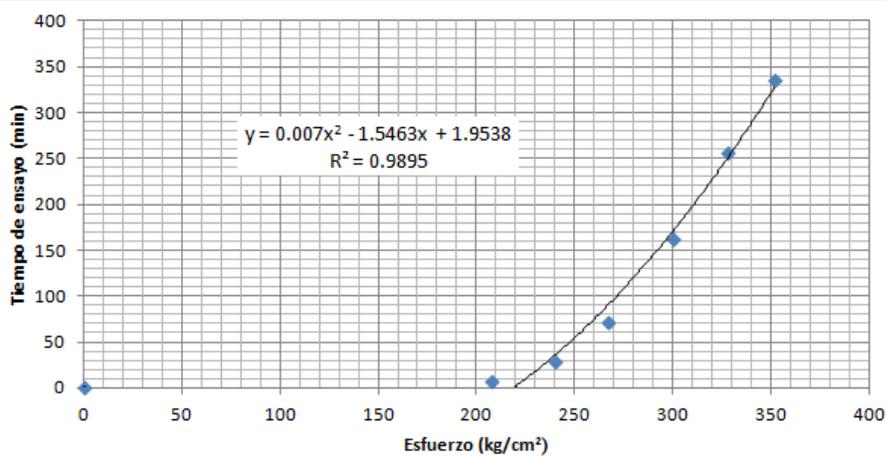
Mezcla: Mezcla "A"

Reporte N°: 2

Hoja N°: 3

Fecha: 22/08/2012

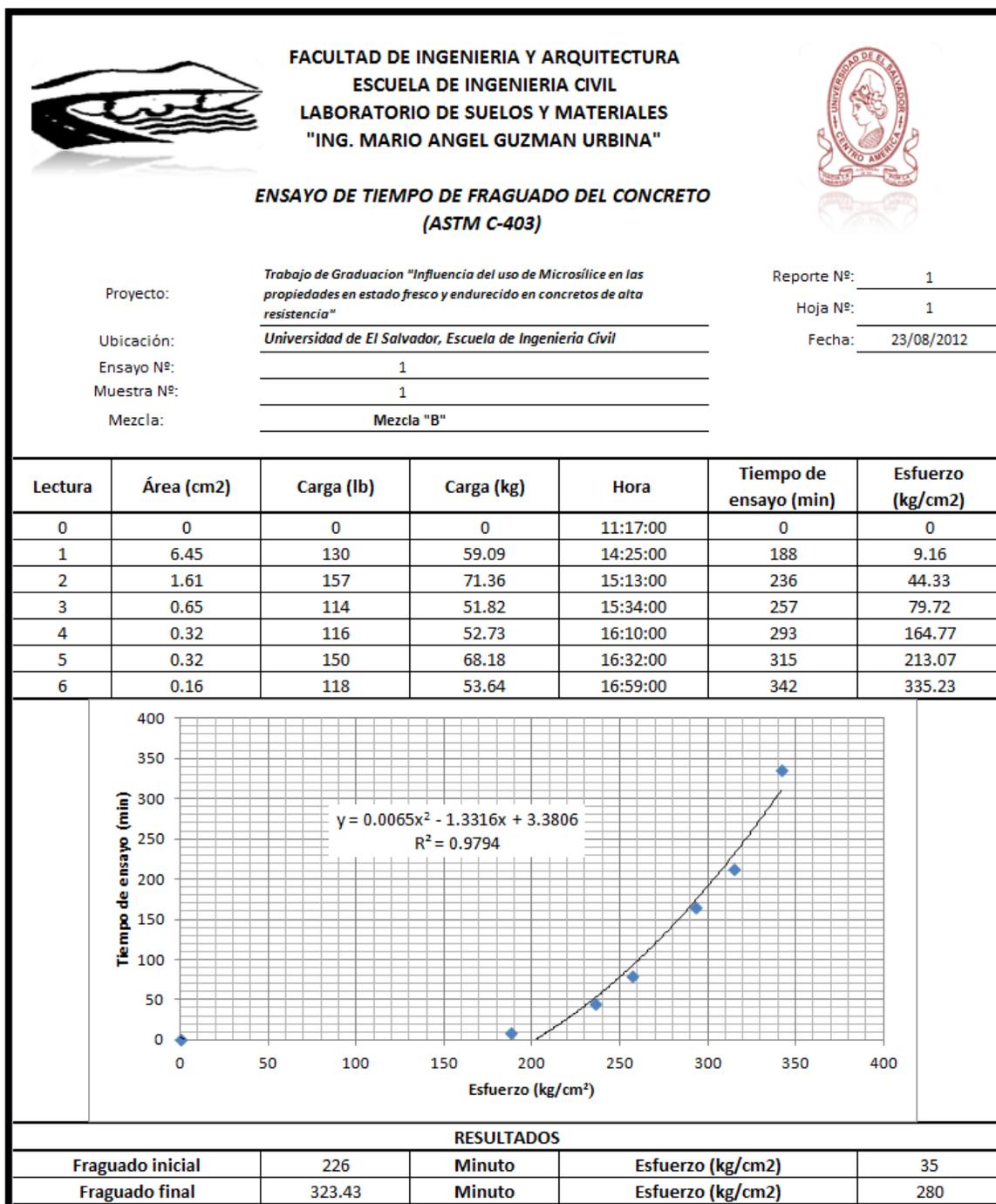
Lectura	Área (cm ²)	Carga (lb)	Carga (kg)	Hora	Tiempo de ensayo (min)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0	0	11:00:00	0	0
1	6.45	108	49.09	14:28:00	208	7.61
2	1.61	100	45.45	15:00:00	240	28.23
3	0.65	102	46.36	15:27:00	267	71.33
4	0.32	114	51.82	16:00:00	300	161.93
5	0.16	90	40.91	16:28:00	328	255.68
6	0.16	118	53.64	16:52:00	352	335.23



RESULTADOS

Fraguado inicial	240.53	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	35
Fraguado final	338.31	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	280

MEZCLA "B" (12% DE MICROSÍLICE)





FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO
 (ASTM C-403)**

Proyecto: Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Ensayo N°: 2

Muestra N°: 2

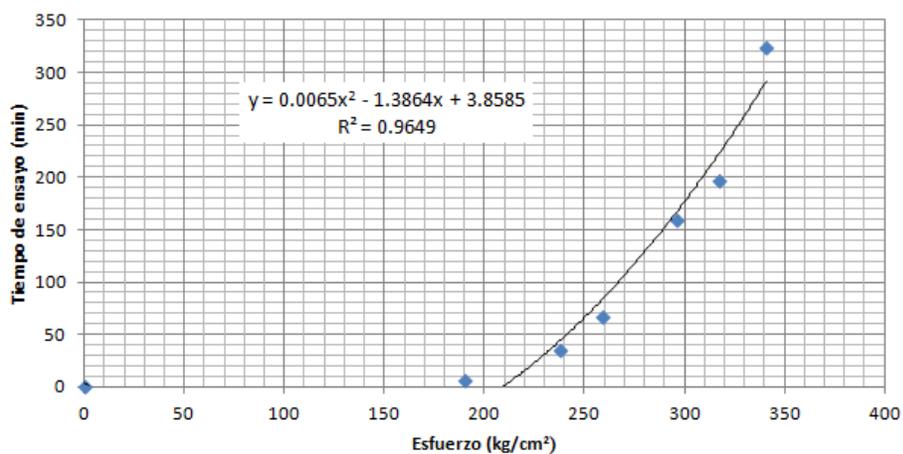
Mezcla: Mezcla "B"

Reporte N°: 3

Hoja N°: 2

Fecha: 23/08/2012

Lectura	Área (cm ²)	Carga (lb)	Carga (kg)	Hora	Tiempo de ensayo (min)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0	0	11:17:00	0	0
1	6.45	92	41.82	14:27:00	190	6.48
2	1.61	126	57.27	15:15:00	238	35.57
3	0.65	96	43.64	15:36:00	259	67.13
4	0.32	112	50.91	16:13:00	296	159.09
5	0.32	138	62.73	16:34:00	317	196.02
6	0.16	114	51.82	16:58:00	341	323.86



RESULTADOS

Fraguado inicial	233.69	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	35
Fraguado final	337.53	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	280



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO
 (ASTM C-403)**

Proyecto: Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Ensayo N°: 3

Muestra N°: 3

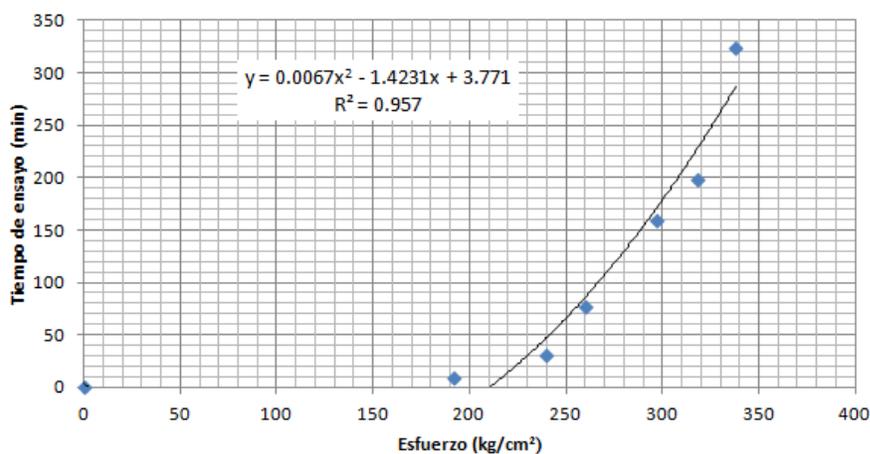
Mezcla: Mezcla "B"

Reporte N°: 3

Hoja N°: 3

Fecha: 23/08/2012

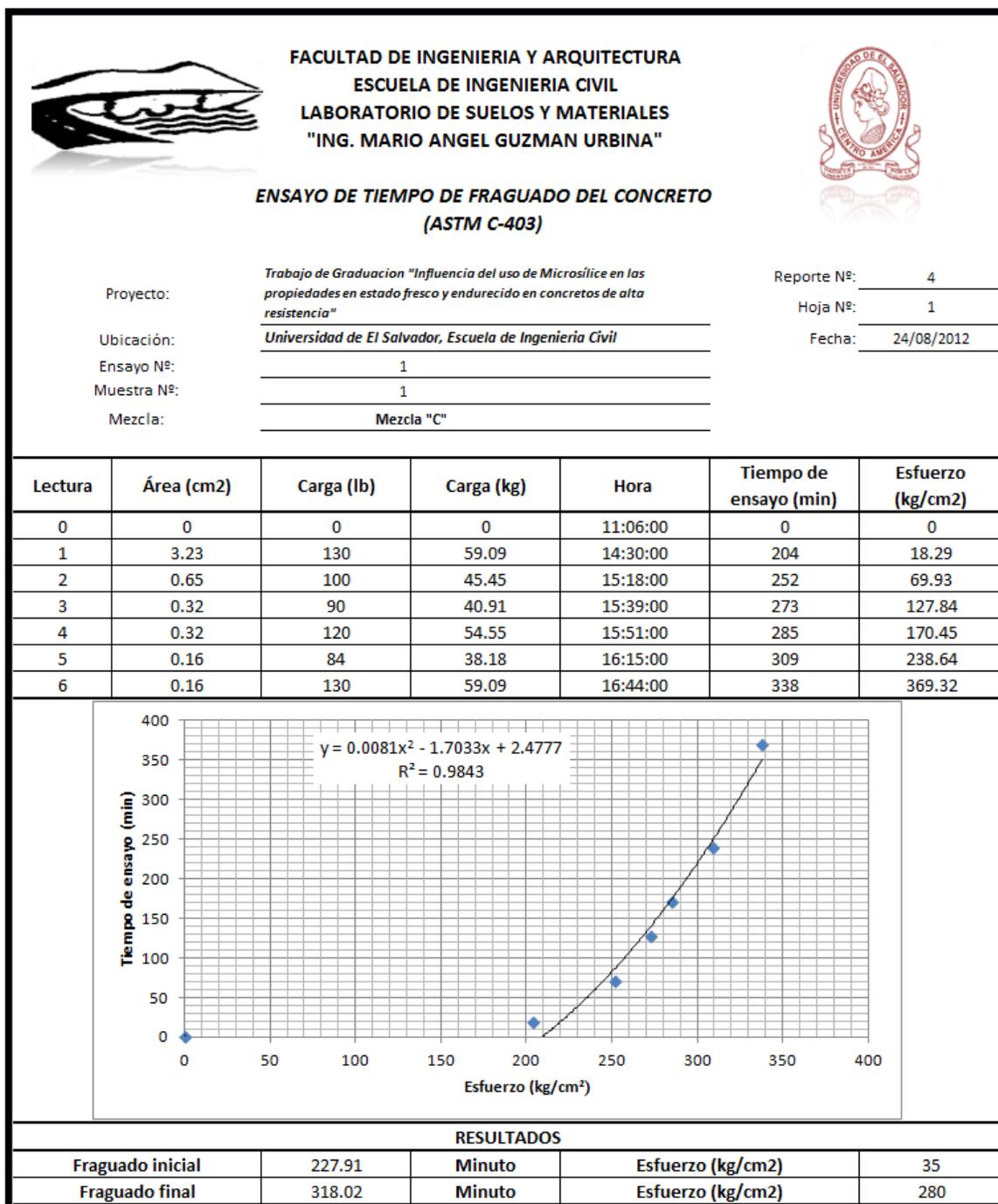
Lectura	Área (cm ²)	Carga (lb)	Carga (kg)	Hora	Tiempo de ensayo (min)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0	0	11:17:00	0	0
1	6.45	120	54.55	14:29:00	192	8.46
2	1.61	110	50.00	15:17:00	240	31.06
3	0.65	110	50.00	15:37:00	260	76.92
4	0.32	112	50.91	16:14:00	297	159.09
5	0.32	140	63.64	16:35:00	318	198.86
6	0.16	114	51.82	16:55:00	338	323.86

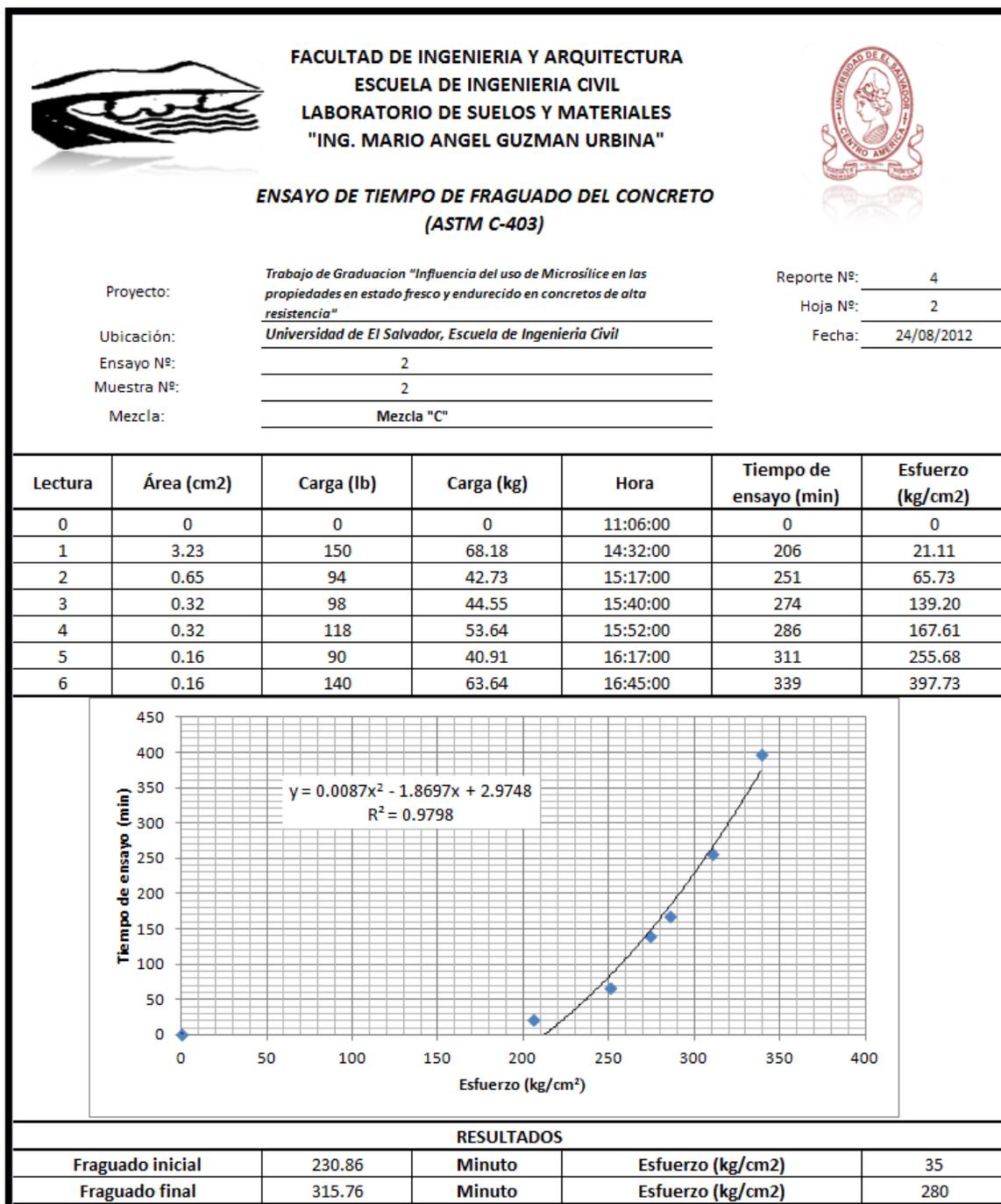


RESULTADOS

Fraguado inicial	232.46	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	35
Fraguado final	335.35	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	280

MEZCLA "C" (17% DE MICROSÍLICE)







FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



**ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUADO DEL CONCRETO
 (ASTM C-403)**

Proyecto: Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsílice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"

Ubicación: Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil

Ensayo N°: 3

Muestra N°: 3

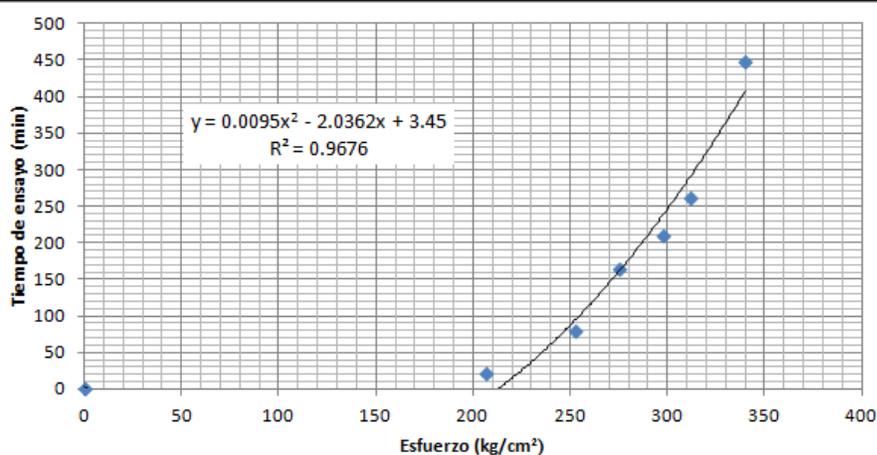
Mezcla: Mezcla "B"

Reporte N°: 4

Hoja N°: 3

Fecha: 24/08/2012

Lectura	Área (cm ²)	Carga (lb)	Carga (kg)	Hora	Tiempo de ensayo (min)	Esfuerzo (kg/cm ²)
0	0	0	0	11:06:00	0	0
1	3.23	148	67.27	14:33:00	207	20.83
2	0.65	114	51.82	15:19:00	253	79.72
3	0.32	116	52.73	15:41:00	275	164.77
4	0.32	148	67.27	16:04:00	298	210.23
5	0.16	92	41.82	16:18:00	312	261.36
6	0.16	158	71.82	16:46:00	340	448.86



RESULTADOS

Fraguado inicial	228.85	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	35
Fraguado final	308.66	Minuto	Esfuerzo (kg/cm ²)	280

ANEXO 4:

**RESULTADOS DEL ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA
RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO SEGÚN LA NORMA
ASTM C-78**

MEZCLA PATRÓN

		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"								
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA AL TERCIO MEDIO ASTM C-78								
<i>Trabajo de Graduacion "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i>								
PROYECTO:					REPORTE Nº:	1		
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil				HOJA Nº:	1		
ENSAYO Nº:	1				FECHA:	16/08/2012		
MEZCLA:	PATRON							
MODULO DE RUPTURA PROMEDIO		64.24	Kg/cm ²					
PESO VOLUMETRICO PROMEDIO		2.291	Kg/cm ³					
Viga	Edad (dias)	Longitud total (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Masa (g)	Carga (Kg)	Peso-Vol (Kg/cm ³)	Modulo de Ruptura (Kg/cm ²)
1	28	60.13	15.19	14.96	30700	5000	2.22	66.19
2	28	60.50	15.21	15.01	31300	4650	2.30	61.06
3	28	59.20	15.17	14.92	31500	4850	2.33	64.63
4	28	60.57	15.22	14.92	31500	4900	2.31	65.08
OBSERVACIONES:						La longitud utilizada para el calculo fue la longitud entre apoyos que es de 45 cm		

MEZCLA "A" (7% DE MICROSÍLICE)

Viga	Edad (días)	Longitud total (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Masa (g)	Carga (Kg)	Peso-Vol (Kg/cm ³)	Modulo de Ruptura (Kg/cm ²)
1	28	60.27	15.18	15.00	31500	4900	2.32	64.56
2	28	60.90	15.48	15.29	31750	5500	2.26	68.39
3	28	60.90	15.24	15.21	31200	5300	2.23	67.65
4	28	60.90	15.26	15.36	31900	5050	2.27	63.12
MEZCLA: 7% DE MICROSÍLICE MODULO DE RUPTURA PROMEDIO 65.93 Kg/cm ² PESO VOLUMETRICO PROMEDIO 2.27 Kg/cm ³								
PROYECTO: <i>Trabajo de Graduación "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i> UBICACIÓN: <i>Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil</i> ENSAYO Nº: 1 MEZCLA: 7% DE MICROSÍLICE								
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR: PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA AL TERCIO MEDIO ASTM C-78 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA" ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR								
REPORTE Nº: 1 HOJA Nº: 1 FECHA: 16/08/2012								
OBSERVACIONES: La longitud utilizada para el calculo fue la longitud entre apoyos que es de 45 cm								



MEZCLA "B" (12% DE MICROSÍLICE)

	UNIVERSIDAD DEL SALVADOR	FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"						
										
<p>MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA AL TERCIO MEDIO ASTM C-78 <i>Trabajo de Graduación "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i></p>										
PROYECTO:	Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil								REPORTE Nº:	1
UBICACIÓN:									HOJA Nº:	1
ENSAYO Nº:	1								FECHA:	16/08/2012
MEZCLA:	12% DE MICROSILICE									
	MODULO DE RUPTURA PROMEDIO		66.14		Kg/cm ²					
	PESO VOLUMETRICO PROMEDIO		2.261		Kg/cm ³					
Viga	Edad (dias)	Longitud total (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Masa (g)	Carga (Kg)	Peso- Vol (Kg/cm ³)	Modulo de Ruptura (Kg/cm ²)		
1	28	60.30	15.23	15.10	30000	5750	2.21	74.51		
2	28	60.00	15.18	15.04	30100	4750	2.24	62.25		
3	28	60.07	15.03	14.90	30000	4800	2.29	64.73		
4	28	60.07	15.02	14.62	30100	4500	2.31	63.08		
OBSERVACIONES: La longitud utilizada para el calculo fue la longitud entre apoyos que es de 45 cm										

MEZCLA "C" (17% DE MICROSÍLICE)

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR								
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA								
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL								
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"								
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA AL TERCIO MEDIO ASTM C-78								
<i>Trabajo de Graduación "Influencia del uso de Microsilice en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos de alta resistencia"</i>								
PROYECTO:	1		REPORTE Nº:					
UBICACIÓN:	Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil		HOJA Nº:					
ENSAYO Nº:	1		FECHA:					
MEZCLA:	17% DE MICROSILICE							
MODULO DE RUPTURA PROMEDIO		67.10	Kg/cm ²					
PESO VOLUMETRICO PROMEDIO		2.237	Kg/cm ³					
Viga	Edad (días)	Longitud total (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Masa (g)	Carga (Kg)	Peso-Vol (Kg/cm ³)	Modulo de Ruptura (Kg/cm ²)
1	28	60.37	15.15	15.21	29500	5000	2.16	64.20
2	28	60.00	15.22	14.97	31200	5350	2.32	70.58
3	28	59.33	15.18	14.92	29500	5700	2.26	75.91
4	28	60.17	15.29	15.15	30000	4500	2.22	57.70
OBSERVACIONES: La longitud utilizada para el calculo fue la longitud entre apoyos que es de 45 cm								

ANEXO 5:
PANEL DE FOTOGRAFIAS

Fotografía A6.1: Protección para el uso de la microsíllice



Fotografía A6.2: Mezcla de Concreto



Fotografía A6.3: Especímenes para resistencia a compresión



Fotografía A6.4: Ensayo de Contenido de aire



Fotografía A6.5: Curado de especímenes



Fotografía A6.6: Fallas de especímenes a compresión

