

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONCRETOS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Parada Parada, Gabriel Enrique

Pérez Insausti, José Luis

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, Enero 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONCRETOS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE

TUTOR ACADÉMICO:

Prof. Ronald Torres

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los Brs.:

Parada Parada, Gabriel Enrique

Pérez Insausti, José Luis

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, Enero 2010

ACTA

El día **11 de Febrero de 2010** se reunió el jurado formado por los profesores:

Ronald Torres

Trino Baloa -

Nelson Camacho

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONCRETOS CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE”**.

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Gabriel Enrique Parada Páez	20	VEINTE
José Luis Pérez Insausti	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO



Caracas, 18 de Febrero de 2010

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especial de grado a mis padres José Pérez López y Dolores Insausti Suarez, por darme todo lo necesario durante mi vida para el logro de esta gran meta y dedicar tanto esfuerzo, por ustedes soy lo que soy, los quiero mucho.

A mi abuela Celsa y mi abuelo Castor, que en paz descansen, por ser un ejemplo a seguir durante el tiempo que pude compartir con él y dejarme su gran ejemplo de esfuerzo y dedicación.

A mi Lorena preciosa, por ser mi gran compañera, eres una gran persona y me has enseñado mucho, por ti he logrado y espero seguir logrando grandes metas en mi vida, Te Amo.

A mi hermano Juan Carlos, de quien he aprendido mucho además de ser mi mejor amigo y gran compañero, cuenta siempre conmigo hermano.

A mi querida Universidad Central de Venezuela, tú me diste la herramienta para seguir adelante, siempre te representare orgullosamente donde esté y nunca olvidare lo aprendido en tus espacios, Orgulloso de ser Ucevista.

José Luis Pérez Insausti

Dedico este Trabajo Especial de Grado a mi Familia, especialmente a mis Padres, Dailly y Nelson, y a mis hermanos Dani y Nelson, por ser el pilar, ejemplo y esencia de lo que soy y seré, gracias a ustedes he logrado esta meta.

A mis abuelos que ya descansan, vivir esos cortos momentos con ustedes siempre estará en mi recuerdo y espero hacerlos sentir siempre orgullosos de mi, como siempre lo estaré yo de ustedes.

A mi tío Celedonio que en paz descansa y a mi tía Hilda, porque, el Hogar que me brindaron lo recordaré siempre, las vivencias que estuve con ustedes me brindaron años de gratos recuerdos, por esto y todo lo demás, gracias, ustedes estarán siempre conmigo.

A Leudith Figuera, en poco tiempo de trabajo me hiciste estar en casa, por todos tus consejos y ayudas, por la extraordinaria persona que eres, haz puesto más que un granito de arena en esta travesía.

A ti Adri, eres el significado de tantos éxitos que he logrado, y por los que faltan por realizar, más que ayudar en ellos, son tuyos también. La inspiración y razón de mis ideas.

A mi querida UCV, el mejor de los espacios de mi vida estará siempre contigo. Más que una casa de estudios, te convertiste en mi segundo hogar. Orgulloso de ti siempre, espero honrar tu nombre en todo momento. Porque siempre serás la casa que vence las sombras, estarás siempre conmigo. U U UCV!!

Gabriel Enrique Parada Páez

AGRADECIMIENTOS

Ante todo queremos darle gracias a Dios por habernos permitido alcanzar este cometido y darnos las fuerzas necesarias que lograron vencer las horas de cansancio y desaliento en los momentos más críticos, por esto y mucho más, gracias.

A nuestra querida UCV, lugar de vivencias que recordaremos toda la vida y que nos permitió no sólo formarnos como profesionales, sino también nos dio un inigualable crecimiento personal, la casa que vence las sombras siempre estará con nosotros.

A nuestro tutor el Profesor Ronald Torres, por su asesoría y paciencia durante todo el proceso de investigación y brindarnos todas las facilidades para llevarlo a cabo de manera exitosa.

A Lore y Adri por ayudarnos de forma incondicional en los momentos que mas necesitamos, por su paciencia durante la realización de esta tesis.

Al los Profesores César Peñuela y Nelson Camacho, por encontrarse a nuestra disposición y brindarnos su ayuda en cualquier momento.

Al personal técnico del IMME, Robert, Lee, y en especial a Elione, por brindarnos su ayuda en todo momento para realizar el proceso experimental.

A todos nuestros amigos y compañeros de estudio durante la carrera, en especial a Rommel (El Chino), Migue, Samu, Jorge (El gocho), Mara y Jesús (Abu), los queremos y siempre serán una parte importante de nuestras vidas, y a todos los que no están, también, son muchos muchachos, gracias a todos.

Parada P, Gabriel E.

Pérez I, José L.

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE CONCRETOS CON ADICIÓN
DE MICROSÍLICE**

Tutor Académico: Prof. Ronald V, Torres M.

Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. 2009. 153 pág.

Palabras Clave: Concreto, Microsílice, Resistencia, Sustitución, Adición.

Resumen. En la actualidad se están utilizando nuevas tecnologías como adiciones para aumentar la resistencia a compresión del concreto, una de ellas es el microsílice. En el presente trabajo especial de grado se estudia el comportamiento de mezclas de concreto de resistencias bajas y medias con la adición de este material, siendo evaluado de forma experimental.

Se realizaron mezclas con sustitución parcial de cemento por microsílice y otras con adición las cuales fueron contrastadas con mezclas patrones, comparando sus principales características como resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, homogeneidad y trabajabilidad. También se realizó un estudio económico comparando los precios entre las distintas mezclas.

Se obtuvo como resultado aumentos de la resistencia de un 22% para las muestras con sustitución de cemento por microsílice y otros aumentos de 45% y 56% para las muestras con adición de 10% y 15% de microsílice respectivamente, observando que aunque se producen aumentos de resistencia considerables los costos por metro cúbico de concreto con microsílice son muy elevados, subiendo estos entre un 60% y 100% el costo del concreto, por lo que es una alternativa poco viable económicamente.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
I.1 Planteamiento del Problema.....	1
I.2 Objetivos	3
I.2.1 Objetivo general.....	3
I.2.2 Objetivos específicos.....	3
I.3 Aportes	4
I.4 Alcance	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
II.1 Concreto Estructural	6
II.1.1 Antecedentes.....	6
II.1.2 El Concreto	7
II.1.2.1 Componentes del Concreto	7
II.1.2.1.1 Cemento Portland	7
II.1.2.1.2 Agregados	7
II.1.2.1.2.1 Niveles de Calidad.....	9
II.1.2.1.2.2 Granulometría.....	9
II.1.2.1.2.3 Tamaño máximo	10
II.1.2.1.2.4 Segregación.....	10
II.1.2.1.3 Agua de mezclado	10
II.1.2.2 Propiedades del Concreto	12
II.1.2.2.1 Concreto fresco.....	12

II.1.2.2.1.1 Características.....	12
II.1.2.2.1.2 Trabajabilidad	12
II.1.2.2.1.3 Retracción.....	13
II.1.2.2.2 Concreto Endurecido	13
II.1.2.2.2.1 Resistencia	13
II.2 Microsílice	14
II.2.1 Generalidades	14
II.2.2 Definición.....	14
II.2.3 Producción.....	14
II.2.4 Como trabaja el Microsílice.....	15
II.3 Mezclas de concreto.....	16
II.3.1 Proporción de los agregados	16
II.3.1.2 Agregado grueso	17
II.3.1.2 Agregado fino	17
II.3.2 Relación agua-cemento	18
II.3.2.1 Contenido de cemento.....	18
II.4 Proceso Experimental	19
II.4.1 Ensayos de los agregados.....	19
II.4.1.1 Granulometría.....	20
II.4.1.1.1 Agregados gruesos.....	20
II.4.1.1.2 Agregados finos.....	21
II.4.1.2 Contenido de humedad.....	22
II.4.2 Diseño de mezclas.....	24
II.4.3 Elaboración de mezclas.....	24
II.4.3.1 Cono de Abrams	25
II.4.3.2 Probetas cilíndricas.....	26

II.4.4 Curado de probetas	27
II.4.5 Ensayos de Concreto.....	27
II.4.5.1 Compresión	28
II.4.5.2 Ultrasonido.....	28
II.4.5.3 Módulo de Elasticidad.....	29
CAPÍTULO III: MÉTODO.....	30
III.1 Aspectos Generales	30
III.2 Método de Trabajo.....	31
III.2.1 Almacenamiento de agregados, cemento y microsílíce	31
III.2.2 Análisis de los agregados.....	32
III.2.2.1 Granulometría	32
III.2.2.2 Porcentaje de humedad.....	33
III.2.2.3 Densidad y porcentaje de absorción de los agregados	34
III.2.3 Diseño de mezclas.....	40
III.2.3.1 Relación Agua/cemento.....	42
III.2.3.2 Relación triangular, cantidad de cemento a utilizar	43
III.2.3.3 Volumen de cemento en la mezcla	45
III.2.3.4 Volumen de aire atrapado y dosis de agua.....	45
III.2.3.5 Volumen de los agregados	46
III.2.3.6 Corrección por humedad de los agregados	48
III.2.4 Mezclado	50
III.2.5 Preparación de las probetas cilíndricas y curado del concreto ...	53
III.2.6 Ensayos de las probetas de concreto	55
III.2.6.1 Ensayos de Ultrasonido	56
III.2.6.2 Ensayos de Módulo de Elasticidad	57

III.2.6.3 Ensayos de Resistencia a la Compresión.....	59
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	63
IV.1 Análisis de los agregados	63
IV.1.1 Granulometría del agregado grueso.....	63
IV.1.2 Granulometría del agregado fino	64
IV.1.3 Módulo de finura para agregados gruesos y finos.....	66
IV.1.4 Porcentaje de humedad de los Agregados.....	66
IV.1.4.1 Contenido de Humedad del Agregado Fino	66
IV.1.4.2 Contenido de Humedad del Agregado Grueso.....	67
IV.1.5 Densidad y Absorción de los Agregados.....	67
IV.1.5.1 Densidad y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino	67
IV.1.5.2 Densidad y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso....	68
IV.2 Diseño de Mezclas.....	69
IV.2.1 Diseño de mezclas para MP1.....	69
IV.2.2 Diseño de mezclas para MP2.....	69
IV.2.3 Diseño de mezclas para MS1.....	70
IV.2.4 Diseño de mezclas para MS2.....	70
IV.2.5 Diseño de mezclas para MS3.....	71
IV.2.6 Diseño de mezclas para MS4.....	71
IV.3 Cono de Abrams	72
IV.3.1 Mezclas diseñadas para resistencias de 180 Kgf/cm ²	72
IV.3.2 Mezclas diseñadas para resistencias de 250 Kgf/cm ²	72
IV.4 Ensayo de Ultrasonido.....	73
IV.4.1 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra Parón 1, f'c = 180 Kgf/cm ²	73

IV.4.2 Ensayo de Ultrasonido para la MS1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílíce	73
IV.4.3 Ensayo de Ultrasonido para la MP2, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	74
IV.4.4 Ensayo de Ultrasonido para la MS2, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílíce	74
IV.4.5 Ensayo de Ultrasonido para la MS3, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 10% de microsílíce	75
IV.4.6 Ensayo de Ultrasonido para la MS4, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 15% de microsílíce	75
IV.4.7 Relación de homogeneidad entre las muestras patrones y las muestras con contenido de microsílíce para cada tipo de resistencia ..	76
IV.5 Peso Unitario	77
IV.6 Ensayo de Módulo de Elasticidad	78
IV.6.1 Resultados para la MP1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$	78
IV.6.2 Resultados para la MS1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$	80
IV.6.3 Resultados para la MP2, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	82
IV.6.4 Resultados para la MS2, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	84
IV.6.5 Resultados para la MS3, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	86
IV.6.6 Resultados para la MS4, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	88
IV.7 Resistencia a la Compresión	90
IV.7.1 Resultados para la MP1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$	90
IV.7.2 Resultados para la MS1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílíce.....	93
IV.7.3 Resultados para la MP2, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	97
IV.7.4 Resultados para la MS2, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílíce.....	99

IV.7.5 Resultados para la MS3, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 10% de peso de cemento por microsílíce	102
IV.7.6 Resultados para la MS4, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 15% de peso de cemento por microsílíce	105
IV.8 Análisis económico	110
IV.8.1 Costos de las muestra patrón 1 (MP1) , $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$	110
IV.8.2 Costos de las muestra con contenido de microsílíce 1 (MS1), $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de parte del cemento por Microsílíce.....	111
IV.8.3 Costos de las muestra patrón 2 (MP2) , $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$	111
IV.8.4 Costos de las muestra con contenido de microsílíce 2 (MS2), $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de parte del cemento por microsílíce.....	112
IV.8.5 Costos de las muestra con contenido de microsílíce 3 (MS3), $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 10% de microsílíce	113
IV.8.6 Costos de las muestra con contenido de microsílíce 3 (MS3), $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 15% de microsílíce	113
IV.8.7 Comparación de costos de producción de concretos con contenido de microsílíce y concretos sin el contenido del mismo	114
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	117
V.1 Análisis de los agregados	117
V.1.1 Granulometría del agregado grueso.....	117
V.1.2 Granulometría del agregado fino	117
V.2 Densidad, absorción y contenido de humedad	118
V.2.1 Agregado grueso	118
V.2.2 Agregado fino	118

V.3 Cono de Abrams	119
V.4 Ensayo de Ultrasonido	120
V.5 Peso Unitario	121
V.6 Ensayo de Módulo de Elasticidad	122
V.7 Resistencia a la Compresión	124
V.8 Análisis económico	126
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
VI.1 Conclusiones	128
VI.2 Recomendaciones	131
REFERENCIAS GENERALES	132
APÉNDICES	134

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Tabla # II.1 Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (2) cedazos de aberturas cuadradas AGREGADO GRUESO.....	21
Tabla # II.2 Límites granulométricos. Agregado Fino	22

CAPÍTULO III: MÉTODO

Tabla # III.1 Desviación estándar en el diseño de mezcla según control de calidad de los agregados	41
Tabla # III.2 Factores de corrección de la relación agua/cemento por tamaño máximo	42
Tabla # III.3 Factores de corrección de la relación agua/cemento por tipo de agregados	43
Tabla # III.4 Factores de corrección de la cantidad de cemento por tamaño máximo de agregados	44
Tabla # III.5 Factores de corrección de la cantidad de cemento por tipo de agregados.....	44
Tabla # III.6 Edades de Probetas para ultrasonido.....	56
Tabla # III.7 Edades de Probetas para “E”.....	57
Tabla # III.8 Edades de Probetas para ensayos de compresión.....	62

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Tabla # IV.1 Pesos de Agregado Grueso y Bandeja	63
Tabla # IV.2 Resultados del Ensayo Granulométrico del Agregado Grueso.....	63
Tabla # IV.3 Pesos de Agregado Fino y Bandeja	64

Tabla # IV.4 Resultados del Ensayo Granulométrico del agregado fino	65
Tabla # IV.5 Porcentaje de Humedad presente en el Agregado Fino (Arena Natural)	66
Tabla # IV.6 Porcentaje de Humedad presente en el Agregado Grueso (Piedra Picada # 1)	66
Tabla # IV.8 Pesos de la Muestra de Agregado Fino	67
Tabla # IV.9 Porcentaje de Absorción, Densidad Nominal y Densidad Aparente para la muestra de Agregado Fino (Arena Natural).....	67
Tabla # IV.10 Pesos de la Muestra de Agregado Grueso.....	68
Tabla # IV.11 Porcentaje de Absorción, Densidad Nominal y Densidad Aparente para la muestra de Agregado Grueso (Piedra Picada # 1)....	68
Tabla # IV.12.1 Diseño de mezclas para MP1	69
Tabla # IV.13 Diseño de Mezclas para la Muestra Patrón 2 (250Kgf/cm ²)	69
Tabla # IV.14 Diseño de Mezclas para la Muestra con Microsílice 1 (180 Kgf/cm ² con sustitución del 10% de cemento por microsílice)	70
Tabla # IV.15 Diseño de Mezclas para la Muestra con Microsílice 2 (250 Kgf/cm ² con sustitución del 10% de cemento por microsílice)	70
Tabla # IV.16 Diseño de Mezclas para la Muestra con Microsílice 3 (250 Kgf/cm ² con adición de 10% de peso de cemento en microsílice).....	71
Tabla # IV.17 Diseño de Mezclas para la Muestra con Microsílice 4 (250 Kgf/cm ² con adición de 15% de peso de cemento en microsílice).....	71
Tabla # IV.18 Asentamientos obtenidos para la mezcla diseñada para resistencias de 180 Kgf/cm ²	72

Tabla # IV.19 Asentamientos obtenidos para la mezcla diseñada para resistencias de 250 Kgf/cm ²	72
Tabla # IV.20 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MP1 (f'c=180Kgf/cm ²) a los 28 días.....	73
Tabla # IV.21 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MS1 (f'c=180Kgf/cm ²) con sustitución de 10% de cemento por microsílíce a los 28 días	73
Tabla # IV.22 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MP2 (f'c=250 Kgf/cm ²) a los 28 días.....	74
Tabla # IV.23 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MS2 (f'c=250Kgf/cm ²) con sustitución de 10% de cemento por microsílíce a los 28 días	74
Tabla # IV.24 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MS3 (f'c=250Kgf/cm ²) con adición de 10% de microsílíce a los 28 días.....	75
Tabla # IV.25 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MS3 (f'c=250Kgf/cm ²) con adición de 15% de microsílíce a los 28 días.....	75
Tabla # IV.26 Relación entre las velocidades de pulso ultrasónico de las muestras con contenido de microsílíce y las muestras patrones para cada tipo de resistencia	76
Tabla # IV.27 Valores de peso unitario para los distintos tipos de mezcla y a las diferentes edades.....	77
Tabla # IV.28 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MP1 (f'c=180Kgf/cm ²)	78
Tabla # IV.29 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MP1 (f'c=180Kgf/cm ²).....	78
Tabla # IV.30 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MP1 (f'c=180Kgf/cm ²).	79
Tabla # IV.31 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MS1 (f'c=180Kgf/cm ²)	80

Tabla # IV.32 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$).....	80
Tabla # IV.33 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$)	81
Tabla # IV.34 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MP2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$)	82
Tabla # IV.35 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MP2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).....	82
Tabla # IV.36 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MP2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$)	83
Tabla # IV.37 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MS2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$)	84
Tabla # IV.38 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).....	84
Tabla # IV.39 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MS2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$)	85
Tabla # IV.40 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MSA1 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).....	86
Tabla # IV.41 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MSA1 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$)	86
Tabla # IV.42 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MSA1 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$)...	87
Tabla # IV.43 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MSA2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).....	88
Tabla # IV.44 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MSA2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$)	88
Tabla # IV.45 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MSA2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$)...	89

Tabla # IV.46 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) a los 7 días	90
Tabla # IV.47 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) a los 14 días	91
Tabla # IV.48 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) a los 21 días	91
Tabla # IV.49 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días	92
Tabla # IV.50 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 7 días	93
Tabla # IV.51 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución los 14 días	94
Tabla # IV.52 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 21 días.....	94
Tabla # IV.53 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 28 días.....	95
Tabla # IV.54 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MP2 ($f'c=250\text{ Kgf/cm}^2$) a los 7 días	97
Tabla # IV.55 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MP2 ($f'c=250\text{ Kgf/cm}^2$) a los 14 días	97
Tabla # IV.56 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MP2 ($f'c=250\text{ Kgf/cm}^2$) a los 21 días	98
Tabla # IV.57 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MP2 ($f'c=250\text{ Kgf/cm}^2$) a los 28 días	98
Tabla # IV.58 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS2 ($f'c=250\text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 7 días.....	99
Tabla # IV.59 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS2 ($f'c=250\text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 14 días.....	100

Tabla # IV.60 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS2 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 10% de sustitución a los 21 días.....	100
Tabla # IV.61 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS2 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 10% de sustitución a los 28 días.....	101
Tabla # IV.62 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS3 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 10% de adición a los 7 días	102
Tabla # IV.63 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS3 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 10% de adición a los 14 días	103
Tabla # IV.64 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS3 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 10% de adición a los 21 días	103
Tabla # IV.65 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS3 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 10% de adición a los 28 días	104
Tabla # IV.66 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS4 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 15% de adición a los 7 días	105
Tabla # IV.67 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS4 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 15% de adición a los 14 días	106
Tabla # IV.68 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS4 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 15% de adición a los 21 días	106
Tabla # IV.69 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS4 ($f'c=250$ Kgf/cm ²) con 15% de adición a los 28 días	107
Tabla # IV.70 Costos de elaboración de mezclas de concreto sin contenido de microsílíce obteniendo una resistencia a la compresión de 188,67 Kgf/cm ² a los 28 días	109
Tabla # IV.71 Costos de elaboración de mezclas de concreto con 10% de sustitución de cemento por microsílíce obteniendo una resistencia a la compresión de 230,68 Kgf/cm ² a los 28 días	111
Tabla # IV.72 Costos de elaboración de mezclas de concreto sin contenido de microsílíce obteniendo una resistencia a la compresión de 231,14 Kgf/cm ² a los 28 días	112

Tabla # IV.73 Costos de elaboración de mezclas de concreto con 10% de sustitución de cemento por microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 283,76 Kgf/cm ² a los 28 días	112
Tabla # IV.74 Costos de elaboración de mezclas de concreto con 10% de adición de microsilíce de microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 333,61 Kgf/cm ² a los 28 días.....	113
Tabla # IV.75 Costos de elaboración de mezclas de concreto con 10% de adición de microsilíce de microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 360,83 Kgf/cm ² a los 28 días.....	114

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Gráfico # IV.1 Curva Granulométrica para el Agregado Grueso.....	64
Gráfico # IV.2 Curva Granulométrica para el Agregado Fino.....	65
Gráfico # IV.3 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MP1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$).....	79
Gráfico # IV.4 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$).....	81
Gráfico # IV.5 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MP2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).....	83
Gráfico # IV.6 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).....	85
Gráfico # IV.7 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS3 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).....	87
Gráfico # IV.8 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS4 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).....	89
Gráfico # IV.9 Comportamiento de la MP1 ($f'c =180\text{Kgf/cm}^2$).....	93
Gráfico # IV.10 Comportamiento de MS1 con 10% de sustitución	96
Gráfico # IV.11 Comparación entre Muestras Patrones y Muestras con contenido de Microsílice (Para 250 kgf/cm^2).....	96
Gráfico # IV.12 Comportamiento de MP2 ($f'c =250\text{ Kgf/cm}^2$)	99
Gráfico # IV.13 Comportamiento de MS2 ($f'c =250\text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución de cemento por microsílíce	102
Gráfico # IV.14 Comportamiento de MS3 ($f'c =250\text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de adición de peso de cemento por microsílíce	105

Gráfico # IV.15 Comportamiento de MS4 ($f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$) con 15% de adición de peso de cemento por microsílíce	108
Gráfico # IV.16 Comparación entre Muestras Patrones y Muestras con contenido de Microsílíce (Para 250 kgf/cm^2).....	109
Gráfico # IV.17 Distribución de costos en una mezcla con contenido de microsílíce.....	115
Gráfico # IV.18 Distribución de costos en una mezcla sin microsílíce	115
Gráfico # IV.19 Costos de las mezclas de concreto sin microsílíce y con contenido de microsílíce según su resistencia a los 28 días.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO III: MÉTODO

Figuras III.1 y III.2 Almacenamiento de cemento. Almacenamiento de agregados.....	31
Figuras III.3 y III.4 Tamizadora mecánica para granulometría de agregado grueso. Cedazos para granulometría de agregado fino.....	33
Figura III.5 Ensayo del cono para determinar la condición de saturado con superficie seca del agregado fino	35
Figura III.6 Colocación de muestra de agregado fino dentro del picnómetro.....	36
Figura III.7 Muestra de agregado grueso secada al horno	38
Figura III.8 Determinación de la masa del agregado sumergido en agua	39
Figuras III.9 y III.10 Pesaje de materiales en la balanza del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales	51
Figura III.11 Adición del cemento a la mezcladora	52
Figura III.12 Ensayo del Cono de Abrams	53
Figura III.13 Vaciado de concreto en moldes metálicos	54
Figura III.14 Desencofrado de probetas cilíndricas.....	55
Figura III.15 Piscina de curado para las probetas cilíndricas.....	55
Figuras III.16 Y III.17 Ensayo de módulo de elasticidad	58
Figura III.18 Probetas cilíndricas preparadas para ser sometidas al ensayo de compresión.....	61
Figura III.19 Probeta cilíndrica sometida al ensayo de compresión.....	61

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de investigación consiste en el estudio de mezclas de concreto con contenido de microsílíce. Para ello se estudiarán sus principales características como: resistencia a la compresión, homogeneidad, trabajabilidad y módulo de elasticidad, las cuales serán comparadas con mezclas patrones, sin contenido de microsílíce. Finalmente se realizará un análisis económico comparando los costos de elaboración de los dos tipos de mezclas.

La caracterización de las mezclas de concreto se realizará de forma experimental, mientras que la comparación de costos de producción de las mezclas de concreto se realizará con referencia a los precios obtenidos para la fecha de elaboración de esta investigación.

El fin de este trabajo es determinar experimentalmente que porcentaje se tiene de aumento de resistencia respecto a la cantidad de microsílíce utilizado, así como también que tan viable es económicamente la utilización de esta adición en nuestro país.

Finalmente los resultados obtenidos serán de gran utilidad ya que se determinará que tan eficiente es el microsílíce en las mezclas de concreto, que tan económico resulta su utilización y que tan acertada es la información suministrada por los fabricantes de este material.

CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1 Planteamiento del Problema

La inquietud de los tesisistas se manifiesta en la búsqueda de opciones para lograr aumentos en la resistencia del concreto utilizado comercialmente para la construcción, por lo cual se acude al Instituto de Materiales y Modelos Estructurales con el fin de investigar qué tipos de materiales están siendo utilizados actualmente como adición del cemento para mejorar el rendimiento de los concretos estructurales.

Entre las distintas opciones de materiales a utilizar se desprende el microsíllice, ya que en la Universidad Central de Venezuela no se tienen antecedentes de trabajos de investigación sobre la utilización de este tipo de material. Se sabe que en la actualidad se está utilizando este tipo de adición para la construcción de los túneles del sistema Metro de Caracas.

La mezcla de concreto se compone de piedra, arena, cemento y agua. Se plantea la opción de utilizar la adición de microsíllice como sustitución de una parte del cemento de la mezcla. Se trabajan dos tipos de resistencias, las cuales serán de 180 Kgf/cm² y 250 Kgf/cm², de esta forma se limita el estudio a dos diseños de mezclas de baja y media resistencia, siendo estos los más empleados comúnmente en la construcción civil.

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de concretos de bajas y medias resistencias con el uso de microsílice como sustitución de parte del cemento.

I.2.2 Objetivos específicos

- 1.- Elaborar mezclas patrones de concreto y mezclas con sustitución parcial de cemento por microsílice.
- 2.- Calcular la resistencia a compresión de las muestras patrones bajo el ensayo a compresión.
- 3.- Obtener la resistencia a la compresión en concretos con sustitución de cemento por 10 % de microsílice.
- 4.- Contrastar el comportamiento del concreto con sustitución de cemento por microsílice y las muestras patrones
- 5.- Caracterizar las muestras de concreto de baja y media resistencia obtenidas experimentalmente.
- 6.- Elaborar curvas de comportamiento de la resistencia de los concretos estudiados a diferentes edades.

I.3 Aportes

Tradicionalmente se utilizan aditivos reductores de agua para lograr con ellos disminuir la relación agua-cemento de la mezcla y de esta forma obtener concretos de altas resistencias. En la actualidad existen nuevas tecnologías poco estudiadas en el país, como por ejemplo la adición de microsílíce como sustitución parcial del cemento.

De esta forma se obtienen soluciones ideales para la construcción de estructuras que requieran de este tipo de mezclas. Existen pocos trabajos de investigación en el país sobre estas adiciones para el concreto, por lo que se tiene un gran aporte a la experimentación con estos materiales.

Además con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se pretende comprobar la efectividad del uso de microsílíce para conseguir aumentos en la resistencia del concreto y desarrollar una tecnología apropiada para obtener concretos de altas resistencia utilizando este tipo de adiciones, y de esta manera lograr obtener las dosificaciones correctas para alcanzar los resultados deseados.

Otro punto de gran importancia de este trabajo, es que los ensayos serán realizados con concretos elaborados con agregados venezolanos, lo cual permitirá dar a conocer su comportamiento con este tipo de adiciones.

I.4 Alcance

La siguiente investigación se limitará al estudio de dos mezclas de concreto, una de baja resistencia y la otra de media resistencia.

La sustitución de microsílice por parte de peso total del cemento se realizará sólo en un 10% de la cantidad total a tomar por cada mezcla de concreto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

II.1. Concreto Estructural

Aunque en general el concreto estructural es considerado un material relativamente nuevo, como su desarrollo ha sido continuo la definición del concreto estructural ha cambiando según las distintas resistencias alcanzadas y los usos de las mismas. Sin embargo, la aplicación de concretos estructurales más especializados ha ido creciendo, como resultado de recientes desarrollos a nivel mundial en material de la tecnología de los materiales y la demanda de concretos cada vez con mejores desempeños.

II.1.1. Antecedentes

En la actualidad existen numerosos estudios en el país en lo que respecta al comportamiento del concreto estructural y al uso de adiciones que mejoran su comportamiento en cuanto a la mejora de sus propiedades químicas y mecánicas, pero cuando estos conceptos son trasladados al uso de estos materiales para ser utilizados como incorporación directa dentro del diseño de la mezcla del concreto estructural y no específicamente como adiciones, estos conocimientos empiezan a disminuir de manera significativa.

Actualmente existen en el país estructuras en las cuales se está haciendo uso de la adición de microsílice en el concreto para el aumento de su resistencia en las paredes perimetrales de los muros de las fosas, como también en el extranjero en estructuras como las *Torres Petronas de Malasia*. Sin embargo, en Venezuela no se cuenta con normativas que establezcan procedimientos y metodologías que se adapten específicamente al uso con cemento y agregados nacionales.

II.1.2. El Concreto

El concreto u hormigón es un material que se puede considerar constituido por dos partes: una es un producto pastoso y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, la otra son los trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta. A su vez, la pasta está constituida por agua y un producto aglomerante ó conglomerante, que es el cemento. El agua cumple la doble misión de dar fluidez a la mezcla y de reaccionar químicamente con el cemento dando lugar, con ello, a su endurecimiento.¹

II.1.2.1. Componentes del concreto

II.1.2.1.1. Cemento portland

El cemento es el componente activo del concreto y trabaja como aglomerante de la mezcla constituyendo entre el 10 y 20% del peso total; Al entrar en contacto con el agua da lugar la reacción química que provoca su endurecimiento.

Al hablar del cemento, implícitamente se está refiriendo al Cemento Portland por ser prácticamente el que se más se utiliza como aglomerante del concreto para fines estructurales. Los cementos Portland son de composición variable, pero comprendida entre ciertos límites.

II.1.2.1.2. Agregados

Los agregados son fragmentos de granos, usualmente materiales pétreos inertes resultantes de la desintegración natural de rocas o que se obtienen de la trituración de las mismas. Estos ocupan tres cuartas partes del volumen total del concreto, y deben tenerse libres de suciedad, ser durables, y no deben tener sustancias que reaccionen

¹ Porrero, J. y otros. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR. 503 p.

químicamente con el cemento. Estos tienen básicamente dos funciones principales:

- Proveer una masa de partículas aptas para poder resistir la acción de cargas aplicadas, la abrasión, el paso de humedad y la acción climática.

- Resistir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento de humedad de la pasta de cemento.

En general los agregados se consideran constituidos de dos fracciones granulares, una formada por las partículas más finas del agregado, denominada arena, y la otra porción constituida por los agregados de mayor tamaño que suelen ser trozos de rocas trituradas el cual se designa como agregado grueso.

La clasificación entre agregado fino y grueso se realiza específicamente basándose en el tamaño de sus partículas. Los agregados son tomados como finos cuando poseen un diámetro menor al tamiz número 4 (4,76mm), aunque es recomendado usar agregados finos con diámetros de partículas mayores a los 75 μm , mientras el agregado grueso se considera para las partículas de un tamaño mayor a 4,76 mm, ó las que quedan retenidas en el tamiz número 4.

En éstos la forma de la partícula y su textura superficial influyen más a las propiedades del concreto fresco que a las propiedades del concreto endurecido. Las partículas de textura áspera o partículas alargadas y laminadas requieren más agua para producir un concreto trabajable, que los agregados redondos o cúbicos. En algunos casos existen agregados con ciertos constituyentes químicos que reaccionan con los álcalis del cemento. Esta reacción de árido-álcali, puede causar una expansión anormal y grietas en el concreto, por lo cual es necesario que sea químicamente estable.

II.1.2.1.2.1. Niveles de calidad

Se debe prestar atención a la elección y control de los agregados ya que de sus características dependen la docilidad del concreto fresco, la resistencia del concreto endurecido, la durabilidad de la estructura y la economía de las mezclas, por lo cual es de gran importancia mantener al margen la normativa correspondiente en cuanto al control de los agregados.

Para conocer la calidad de los agregados con los cuales se pretende realizar las mezclas de un tipo de concreto se deben realizar diversos ensayos en laboratorio con un personal calificado y los equipos adecuados, siguiendo la metodología previamente fijada en la normativa.

II.1.2.1.2.2. Granulometría

Se entiende por granulometría la distribución del tamaño de los granos del cual están compuestos los agregados tanto finos como gruesos. Esta es una característica determinante como influencia sobre las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido. Para obtener la misma trabajabilidad, un agregado de granulometría fina necesitará por lo general, una mayor proporción de agua que uno de granulometría gruesa.

Para obtener el tamaño de partícula de los agregados se utiliza el ensayo mediante el uso de tamices de aberturas calibradas según la Norma COVENIN 254 "Cedazos de Ensayo", por los cuales se pasa el material según la metodología reflejada en la Norma COVENIN 255 "Agregados. Determinación de la composición granulométrica"

II.1.2.1.2.3. Tamaño máximo

Se denomina tamaño máximo de un agregado al tamaño de sus partículas más gruesas, medido como abertura del cedazo de menor tamaño que deje pasar el 95% o más de material.²

El tamaño máximo de los agregados estará asociado íntimamente a la naturaleza del trabajo a realizar. Asimismo, ensayos realizados muestran que el tamaño máximo de los agregados es una propiedad decisiva en cuanto a la calidad y economía del concreto.

II.1.2.1.2.4. Segregación

Es la separación ocurrida en los distintos componentes de una mezcla de concreto durante el transporte y colocación del mismo.

Este fenómeno ocurre cuando existe gran diversidad en los granos de los agregados, provocando la separación de los mismos, generando concretos de composición heterogénea y dudosa calidad. Para evitarlo se mezclan los agregados previamente a realizar la mezcla de concreto y así disminuir los efectos de segregación.

II.1.2.1.3. Agua de mezclado

El agua desempeña dos roles en su calidad de componente del concreto, el primero es que participa en el proceso de hidratación del cemento, la cual no puede tener lugar sin su presencia y luego otorga la trabajabilidad necesaria del concreto siendo determinante para definir su fluidez. En consecuencia, es un componente fundamental del concreto, ya que su presencia condiciona tanto el desarrollo de las propiedades en estado fresco, como en la etapa de endurecimiento (porosidad, retracción y resistencia)

² Porrero, J. y otros, *ibídem*, pág. 67

Para su incorporación en el concreto, el agua debe presentar ciertas características de calidad que pueden resumirse en la forma siguiente:

- El uso de agua potable está permitido sin necesidad de verificar su calidad.
- El agua de mar solo puede usarse en la preparación de concretos de resistencia especificada inferior a 150 kgf/cm².
- El agua contenida de azúcares, en forma de sacarosa o glucosa, no puede ser empleada para la preparación de concreto.

Las aguas de origen desconocido deben ser sometidas a análisis químico. Generalmente se investiga lo siguiente:

.- Origen: No son recomendables las aguas procedentes de desagües, relaves de minas, de alta montaña, de mar, residuales de industrias de azúcar o similares, de aceite, de ácidos, álcalis o cualquier agua que tenga olor o sabor desagradables.

.- Contenidos en suspensión: No son recomendables las aguas que arrastran abundante material en suspensión. Si no contienen exceso de sales disueltas, podrán emplearse si se adopta algún sistema de decantación que permita obtener agua sin turbidez.

.- Contenidos disueltos: No son recomendables las aguas con gusto salobre o azucarado.

En resumen, el agua debe estar libre de sales, impurezas, sólidos en suspensión y materias orgánicas. (Ver Norma venezolana COVENIN).

II.1.2.2. Propiedades del concreto

II.1.2.2.1. Concreto fresco

El concreto fresco pertenece al estado plástico de la mezcla de concreto hasta llegar al principio del fraguado del concreto, en el cual la masa que lo compone se mantiene aún en estado fluido luego de ser mezclado todos sus componentes. Esta característica presenta variaciones en cuanto al entorno climático en la cual se está desarrollando la mezcla de concreto, siendo mayor el tiempo de duración del mismo para localidades de clima templado y menor para zonas cálidas y secas.

II.1.2.2.1.1. Características

Las características del concreto en estado fresco también conocidas como “Reología del concreto”, están compuestas por un conjunto de propiedades que hacen adaptable su manejo y compactación. Éstas se encuentran asociadas a la tixotropía de la mezcla y las variaciones de su viscosidad. Por lo general las características del concreto fresco se basan en la fluidez de la mezcla, en su compactibilidad y estabilidad a la segregación.

II.1.2.2.1.2. Trabajabilidad

En la tecnología del concreto, la palabra “trabajabilidad” se emplea con dos acepciones distintas. Una, general, con la cual se designa el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en moldes y compactarlo adecuadamente. La otra acepción es específica para designar el asentamiento medido por el cono de Abrams. Esta segunda acepción es discutible porque, en realidad, el ensayo sólo es parcialmente representativo del conjunto de propiedades referidas.³

³ Porrero, J. y otros, *ibídem*, pág. 46

II.1.2.2.1.3. Retracción

Es la disminución de volumen que sufre el concreto con el paso del tiempo, principalmente debido a la pérdida de agua, en el cual se produce el encogimiento de la masa de concreto, con lo cual se pueden producir grietas en el material.

La retracción se produce en dos etapas distintas de la vida del concreto, una al momento inicial del fraguado en la cual se pierde agua en parte de la mezcla, y la otra luego de estar endurecido el concreto.

II.1.2.2.2. Concreto endurecido

Es en el proceso de endurecimiento en el cual el concreto logra el desarrollo de su resistencia mecánica, donde las áreas coloidales crecen y se funden en una matriz dentro de la cual quedan atrapadas las partículas de cemento y agua libre, posteriormente esta matriz se va endureciendo gradualmente, convirtiéndose en un gel con inclusiones de cemento sin reaccionar, agua libre, poros y cristales. Siempre que se cuente con humedad en el ambiente, este proceso continua a lo largo de varios años.

II.1.2.2.2.1. Resistencia

Dado que la gran parte del interés de la resistencia del concreto está limitada a sólo a su comportamiento a compresión, éste obedece a la medida de control primordial en los ensayos de estudio del concreto. La potencial resistencia y variabilidad que pueda alcanzar un concreto, puede ser establecida sólo con muestras que se hayan hecho y ensayado bajo condiciones estándar. El desarrollo de la resistencia en los concretos endurecidos está asociado al proceso de curado que se haya ejecutado, y el cumplimiento del mismo.

II.2. Microsílice

Constituido principalmente como una adición del concreto, el microsíllice se ha establecido como uno de los compuestos de mayor utilidad y uso en concretos de alto desempeño a nivel mundial, logrando establecer estándares antes no alcanzados y que permiten generar grandes utilidades en materia de espacio, economía y trabajabilidad en el área de la construcción.

II.2.1. Generalidades

Las propiedades mecánicas de morteros de cemento con partículas de microsíllice que han sido analizadas y estudiadas, han dado resultados experimentales que muestran un aumento en la resistencia a compresión de los mismos. Más aun, la resistencia de los morteros de cemento con microsíllice fue mayor que la resistencia de los morteros con silicio en polvo. Además distintos estudios indican que las partículas de microsíllice proporcionaron el llenado de los poros y disminuyeron el contenido de hidróxido de calcio dentro de los productos de la hidratación. Son estos los efectos que producen la mejora en las propiedades mecánicas de los morteros de cemento con la adición de microsíllice.

II.2.2. Definición

El microsíllice es un material compuesto de esferas de bióxido de silicio (SiO_2) ultra fino, amorfo y cristalino, producido durante la fabricación de silicio y aleaciones de ferrosilicio. Este proceso involucra la reducción de cuarzo de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico a temperaturas superiores a los 2000°C .

II.2.3. Producción

El microsíllice se forma cuando el gas SiO producido conforme el cuarzo se reduce, se mezcla con el oxígeno en la parte superior del

horno. En este punto el SiO se oxida a SiO₂, condensándose en las partículas esféricas puras de microsílíce que forman la mayor parte de los vapores o humo del horno. De aquí los nombres alternos para el material (*vapores de sílice condensados o vapores de sílice*).

Los vapores del horno se conducen a través de tuberías de enfriamiento, por un pre-colector y ciclón (*para quitar las partículas gruesas que pudieran haberse arrastrado del horno*), y luego se soplan hacia filtros tipo bolsas diseñados especialmente donde se recolectan.

El tamaño promedio de la partícula está por debajo de 0,5 micras, lo que significa que cada micro esfera es de 100 veces más pequeña que un grano de cemento promedio. En una mezcla típica, con dosificación de 10% de microsílíce. Aunque el material se recolecta como un polvo muy fino con una densidad a granel en el rango de 200 Kg/m³, se le puede procesar para densificarlo, haciendo la densidad a granel de alrededor de 650 Kg/m³, o puede hacerse lechada. Este proceso posterior involucra el mezclado de la microsílíce, normalmente en forma directa de los filtros de los silos, con un peso igual al del agua. La lechada es fácil de transportar, almacenar, dosificar y de mezclarse con el concreto.

II.2.4. Como trabaja el Microsílice

Las esferas ultra finas llenan los huecos entre los granos de cemento reduciendo los vacíos en el concreto fresco. Las partículas muy pequeñas hacen del concreto un material mucho más adherente, realmente le dan más movilidad a la mezcla permitiendo que el concreto fluya más fácilmente al aplicarle energía.

Se mejoran el bombeo, formado y acabado, y las mezclas de bombeo de microsílíce se emplean a menudo sin ajustar los contenidos de arena.

Se reducen o eliminan la segregación excesiva y el drenado. Esto permite lograr acabados en la superficie más pronto que con el concreto normal.

El microsílíce es una puzolana, material silíceo o alumino-silíceo a partir del cual se produce el cemento, esto significa que reaccionará con el hidróxido de calcio derivado de la hidratación del cemento y formará más del silicato de calcio hidratado que mantiene unido al concreto.

Debido a que las partículas del microsílíce son ultra finas, con un área de superficie de alrededor de 20.000 m²/Kg, y un contenido de humedad de SiO₂ de aproximadamente 90%, la reactividad es muy alta. Por el tamaño muy pequeño de las partículas de microsílíce, la estructura cristalina formada por esta reacción es también muy pequeña, y ocupa los espacios vacíos dentro de la matriz. Esto densifica la estructura completa del concreto, resultando en una resistencia mayor y reducciones significativas en permeabilidad.

El incremento de la resistencia y reducción de la permeabilidad en el concreto combinados con la reducción de hidróxido de calcio, significan que las características de durabilidad del concreto son considerablemente mejoradas.

II.3. Mezclas de Concreto

II.3.1. Proporción de agregados

Las proporciones de mezcla para un concreto de alta resistencia comprenden un proceso más riguroso que el diseño de mezclas normales. A menudo se exigen muchos ensayos de prueba para que el laboratorista identifique cual es la proporción de mezcla más óptima.

Los agregados son una consideración muy importante dado que ocupan el volumen más grande de cualquiera de los otros materiales en el concreto.

II.3.1.1. Agregado grueso

La cantidad óptima y tamaño de agregado grueso para una arena dada dependerán en gran parte de las características mismas de la arena; particularmente, depende del módulo de finura.

En principio, el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia, debido al aumento de la superficie específica de las partículas.

II.3.1.2. Agregado Fino

En proporción, una mezcla de concreto, un agregado fino o arena tiene considerablemente más impacto en proporciones de la mezcla que un agregado grueso. El área de superficie de todas las partículas de agregados deberá cubrirse con una pasta de cemento, la proporción de agregado fino a grueso puede tener un efecto cuantitativo directo en requisitos de la pasta.

La graduación en el agregado fino tiene un papel importante en obra con respecto a la plasticidad o el endurecimiento del concreto. Bajos volúmenes de agregado fino con volúmenes de agregado grueso alto producen una reducción en requisitos de pasta y normalmente esto resulta más barato. La consolidación por medio de los vibradores mecánicos puede ayudar a superar los efectos de una mezcla segregada.

Las partículas que forman la textura de la superficie de los agregados finos pueden tener un gran efecto en los requisitos de mezclado de agua

II.3.2. Relación agua-cemento

La relación entre la proporción de agua/cemento y la resistencia a compresión que se ha identificado en concretos de resistencia baja, ha resultado también ser válida para concretos de resistencia más alta. Los volúmenes de cemento más altos y los volúmenes de agua más bajos han producido resistencias más altas. Proporcionar grandes cantidades de cemento a la mezcla de concreto, también significa, sin embargo, aumento en la demanda de agua de la mezcla.

Por supuesto que el asentamiento en el concreto se relaciona a la proporción agua/cemento y a la cantidad de agua en el concreto. El uso de reductores de agua de alto rango genera proporciones de A/C más bajas y las depresiones más altas. Las cantidades de mezclas líquidas, reductores de agua de alto rango, particularmente han sido incluidos en las proporciones A/C.

II.3.2.1. Contenido de cemento

Para cualquier proporción dada de materiales en una mezcla de concreto, puede haber un volumen de cemento que produce la máxima resistencia.

La resistencia del concreto puede disminuir si el cemento se agrega por encima de un volumen óptimo, la cantidad deseable de cemento puede variar y puede depender considerablemente de los agentes, como reductores de agua de alto-rango, previniendo flacidez de partículas de cemento. La tenacidad y la pérdida de trabajabilidad serán aumentadas con cantidades más altas de cemento en la mezcla. Combinaciones de

cemento, puzolanas y arena deben evaluarse para efecto de contenidos de cemento.

Mezclas ricas en cemento frecuentemente tienen demandas muy altas de agua, por consiguiente, es posible que esa precaución especial sea necesaria para proporcionar adecuado curado de agua.

II.4. Proceso Experimental

II.4.1. Ensayos de los agregados

Para conocer la calidad de los agregados se deben efectuar ciertos ensayos cuyas condiciones básicas generales son:

- a) Deben realizarse sobre muestras representativas del yacimiento, y de sus diferentes zonas.
- b) Deben ser efectuadas en laboratorios con personal y equipos adecuados, siguiendo cuidadosamente los sucesivos pasos de un procedimiento normativo.

En el Artículo 3.3 de la Norma COVENIN 1753, “*Estructuras de concreto reforzado para edificaciones. Análisis y Diseño*”, se indican las normas COVENIN que deben cumplir los agregados, también se señala la posibilidad de emplear agregados que no satisfagan esa especificaciones.

II.4.1.1. Granulometría

Se entiende por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran. Esta característica decide, de manera muy importante, la calidad del material para su uso como componente del concreto.

El tamaño de los granos se mide de forma indirecta mediante cedazos de diferentes aberturas calibradas (Norma COVENIN 254 “*Cedazos de Ensayos*” y *ASTM E11*, los cuales son colocados en cascada, con el de mayor abertura arriba, decreciendo progresivamente hasta disponer el de menor abertura abajo. Al tamizar el agregado, por agitación, a través de esta serie (Norma COVENIN 255, “*Agregados. Determinación de la composición granulométrica*”), sus granos se distribuyen según sus tamaños.

II.4.1.1.1. Agregados gruesos

La granulometría determinada según la Norma Venezolana COVENIN 255 “*Agregados. Determinación de la composición granulométrica*”, debe estar comprendida entre los límites que se indican en la Tabla # 1.

El agregado grueso, ensayado según la Norma Venezolana COVENIN 264 no debe presentar más del 25% en peso de granos, con formas tales que el cociente entre la dimensión máxima y la dimensión mínima sea mayor que tres (3).

Piedra picada ó grava COVENIN	75 mm (3")	64,0 mm (2 1/2")	50,8 mm (2")	38,1 mm (1 1/2")	25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")	12,7 mm (1/2")	9,51 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")	4,76 mm (N° 4)
N° 1	-	-	-	100	100 a 90	90 a 5	45 a 15	20 a 0	7 a 0	-
N° 2	-	-	100 a 95	90 a 75	70 a 35	30 a 5	10 a 0	5 a 0	-	-
N° 3	100	100 a 90	95 a 65	60 a 20	10 a 0	5 a 0	-	-	-	-

Tabla # II.1. Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (2) cedazos de aberturas cuadradas.⁴

II.4.1.1.2. Agregados finos

El agregado fino debe estar constituido por arena de río, de mina (véase Nota 1) ó proveniente de piedras trituradas; de otra fuente o de arena de mar siempre que cumplan con los requisitos que establece la presente Norma Venezolana (véase Nota 2). Caso especial a objeto de estudio, es la arena proveniente de reciclaje de concreto.

Nota 1: Las arenas micáceas debido a su constitución, son poco apropiadas para utilizarse en la fabricación de concreto y por lo tanto deben evitarse.

Nota 2: Las arenas de mar suelen contener altas proporciones de sales, las cuales deben ser eliminadas para que cumplan los límites establecidos en la presente Norma Venezolana.

⁴ Fuente: Norma COVENIN 277 "Concreto. Agregados. Requisitos"

Según el artículo 3.1.1 de la Norma COVENIN 277 “Concreto. Agregados. Requisitos”, la granulometría determinada comprendida entre los límites que se indican en la Tabla 2, excepto que pueda ser necesario usar por motivos técnicos, materiales con desgastes distintos que no estén dentro de los límites establecidos en la Tabla 1. En estos casos deben establecerse de acuerdo a las normas establecidas o por acuerdo entre las partes involucradas, manteniéndose estable, con variaciones en el módulo de finura menores de $\pm 0,20$.

Cedazos COVENIN	Porcentaje que pasa
9,51 mm; (3/8")	100
4,76 mm; (#4)	85 - 100
2,38 mm; (#8)	60 - 95
1,19 mm; (#16)	40 - 80
595 μm ; (#30)	20 - 60
297 μm ; (#50)	8 - 30
149 μm ; (#100)	2 - 10
75 μm ; (#200)	0 - 5

Tabla # II.2. Límites en la granulometría.⁵

II.4.1.2. Contenido de humedad

La humedad y la absorción de los agregados es una característica que tiene que ser controlada, pues de lo contrario no será posible hacer las correspondientes correcciones de los pesos de los agregados y del agua que requiere su variabilidad.

⁵ Fuente: Norma COVENIN Norma COVENIN 277 “Concreto. Agregados. Requisitos”.

Los agregados suelen retener algunas cantidades de agua en forma de humedad. La humedad se considera como la diferencia de peso entre: el material húmedo y el mismo secado al horno. Se suele expresar como porcentaje en peso, referido al material seco.

Esta humedad se encuentra en los agregados de dos maneras diferentes: una es relleno de los poros y microporos internos de los granos, y la otra es como una película o capa envolvente, más o menos gruesa.

El agua interna de los granos no pasa al concreto como agua de mezclado; al contrario, cuando los granos se encuentran muy secos, pueden absorber parte del agua de la mezcla. El agua externa del agregado sí pasa a formar parte de la mezcla, alterando sus proporciones. El punto de equilibrio entre el agregado seco y el agregado húmedo se conoce como "Agregado saturado con superficie seca".

La humedad en exceso de este punto de equilibrio hace que, en un peso dado de agregado, haya una cierta proporción de material diferente al sólido; esa cantidad de agua se incorporará a la mezcla.

El agregado más crítico para la humedad suele ser la arena, debido a su alta capacidad de retención de agua.

Para la determinación de la humedad y la absorción, tanto de los agregados gruesos como de las arenas, hay ensayos normativos (Normas COVENIN 268 "Agregado fino. Determinación de la densidad y absorción", COVENIN 269 "Agregado grueso. Determinación de la densidad y absorción", COVENIN 272 "Método de ensayo para determinar la humedad superficial en el agregado fino").

También se pueden emplear procedimientos más económicos y rápidos como el secado al fuego, "Speedy-Vac", potenciómetro u Ondas sonoras.

II.4.2. Diseño de mezclas

Se conoce como diseño de mezcla el procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades que debe haber de todos y cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla de concreto, para obtener de ese material el comportamiento deseado, tanto en su estado plástico, como después en su estado endurecido. Las dosificaciones de mezclas deben ser económicas, manejables en estado fresco, resistentes y con durabilidad en estado endurecido.

Existen numerosos métodos para diseñar mezclas, que pueden asemejarse o pueden diferir entre sí profundamente, de acuerdo con las variables que manejen y las relaciones que establezcan; esto indica que ninguno de ellos es perfecto.

Inevitablemente, los diseños de mezclas tienen cierto grado de imprecisión debido a que las variables que condicionan la calidad y el comportamiento del concreto son numerosas y difíciles de precisar. Los ajustes que puedan dar más exactitud a las proporciones de los componentes sólo pueden conseguirse mediante "mezclas de prueba", tanto en laboratorio como en la obra.

II.4.3. Elaboración de mezclas

Las mezclas en laboratorio, bien hechas, son una valiosa ayuda ya que los resultados obtenidos con ellas representan la posible calidad en la obra. Las dispersiones obtenidas en laboratorio son mucho menores que en obra, debido a procedimientos más cuidadosos y menor influencia de los factores ambientales, pero la experiencia indica que hay una relación

de calidades, entre lo obtenido en obra y laboratorio, si el manejo del concreto en obra se hace de acuerdo a la buena práctica establecida.

Las mezclas de laboratorio se pueden preparar manualmente utilizando una plancha de acero, humedecida, sobre la que se hace la mezcla a pala. El mezclado y remezclado son tareas trabajosas pero, bien hechas, para producir mezclas homogéneas. Los procedimientos se describen en la Norma COVENIN 353 *“Método de mezclado de concreto en laboratorio”*.

En laboratorio los tiempos de mezclado son más largos que los requeridos en obra. Se recomienda mezclar durante tres minutos, seguidos de tres minutos de reposo, durante los cuales se puede hacer un ensayo de asentamiento (Cono de Abrams) y luego dos minutos más de mezclado final.

En las mezclas de laboratorio es importante cuidar que los materiales sean verdaderamente representativos de los que se investigan, lo cual es tanto más difícil cuanto menor sea el volumen de la mezcla que se prepara. Estos materiales deben ser pesados y medidos con gran precisión.

Para este tipo de trabajos son muy útiles las pequeñas mezcladoras de eje vertical, con capacidad de entre 50 y 150 litros y con descarga por volcamiento de plato o por extracción directa.

II.4.3.1. Cono de Abrams

El asentamiento es medido con el Cono de Abrams, según la Norma COVENIN 339 *“Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”*, éste es un índice bastante práctico, aunque no mide todas las propiedades plásticas de la mezcla, ni

las valora con el mismo grado de influencia que ellas realmente tienen en el concreto, brinda una información útil sobre todo en términos comparativos.

Según lo establecido en la norma, el cono debe estar construido de un material rígido e inatacable por el concreto, con un espesor mínimo de 1.5 mm. Su forma interior debe ser la de un tronco de cono, de $(200 + 3)$ mm de diámetro de base mayor, $(100 + 3)$ mm de diámetro de base menor y $(300 + 3)$ mm de altura. Las bases deben ser abiertas, paralelas entre sí y perpendiculares al eje del cono. El molde debe estar provisto de asas y aletas. El interior del molde debe ser relativamente suave y sin protuberancias, tales como remaches.

El Cono de Abrams es útil solamente para concretos con agregados pétreos de tamaños máximos menores a 5 centímetros y con relativa plasticidad, con asentamientos entre 2 y 17 centímetros.

La propiedad del concreto fresco menos representada por este método es la trabajabilidad. El ensayo utiliza como única energía de deformación la gravedad, mientras que en la práctica sobre esa fuerza se sobrepone la proporcionada por otros medios, como por ejemplo el vibrador

II.4.3.2. Probetas cilíndricas

Las probetas cilíndricas son los moldes utilizados para el vaciado de la mezcla de concreto que luego será sometida a los ensayos de compresión. Estos moldes deben ser preferiblemente metálicos, rígidos, estancos de superficie interior lisa, no absorbente y que no reaccione con el concreto. Deben estar provistos de una base metálica maquinada, en el caso de moldes metálicos; en el caso de otros materiales, la base debe ser el mismo material que el de las paredes del molde o metálicas, con

planos lisos y con elementos para sujetarla firmemente al molde con el plano perpendicular al eje del cilindro. De tal manera que se consiga un cierre hermético.

El molde normal debe tener $152,5 \pm 2,5$ mm de diámetro y $305 \pm 6,0$ mm de altura para el tamaño nominal de agregado grueso no mayor de 50 mm. Se pueden utilizar moldes de otras dimensiones, siempre que el diámetro sea como mínimo tres veces el tamaño nominal del agregado grueso. La relación altura a diámetro se debe mantener 2 a 1 y en ningún caso su diámetro debe ser menor de 50 mm.

El número de muestras por tomar será estipulado en las especificaciones, bajo las cuales se elabora o se suministra el concreto y dependerá del tipo de obra, de la clase de concreto, de los ensayos a que se destinen y del grado de control que se pretenda ejercer.

II.4.4. Curado de probetas

El curado del concreto se hace en un estanque lleno de agua, la probeta se debe colocar en dicho estanque al momento de su desencofrado y puede permanecer ahí hasta el momento en que se realice el ensayo.

La finalidad del curado es evitar las pérdidas de humedad de las muestras y la retracción lo que podría traer como consecuencia pérdida de resistencia de la mezcla de concreto

II.4.5. Ensayos del concreto

Son los ensayos que se le realizan a las mezclas de concreto para obtener sus características físicas.

II.4.5.1. Compresión

La resistencia del concreto se determina al conocer el promedio de los resultados de ensayos válidos, sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido. Se hace referencia a ensayos válidos por que, eventualmente, los resultados de algunas probetas pueden ser desechados en razón de ciertas anormalidades. Se debe tratar siempre con un número mínimo de probetas para contar con una confiabilidad estadística.

La resistencia del concreto se determina siguiendo un procedimiento normalizado y su valor es tomado como referencia de calidad. El ensayo normalizado a compresión debe ser realizado según se indica en la Norma COVENIN 338 *“Método para elaboración, curado y ensayo a compresión, de cilindros de concreto”*

II.4.5.2. Ultrasonido

Este ensayo consiste en medir el tiempo que tarda un pulso ultrasónico en atravesar la masa de concreto que se está evaluando. La técnica más utilizada consiste en colocar en un extremo de la probeta un emisor de ondas ultrasónicas y en el otro extremo el receptor, ambos enfrentados.

Este método es útil para determinar comparativamente la calidad del concreto, puede ser usado para el estudio de la homogeneidad de los concretos puestos en obra, para la indicación de cambios en algunas de sus características y para la estimación del estado de agrietamiento o deterioro de estructuras de concreto.

La velocidad de propagación de pulso ultrasónico es una función de la densidad y de las constantes elásticas del material. En elementos de

concreto, las variaciones en densidad pueden ocurrir como consecuencia de una consolidación no uniforme.

Los resultados de este método no deben ser utilizados para calcular la resistencia o el módulo de elasticidad del concreto a menos que se disponga de una adecuada cantidad de ensayo de resistencia mecánica y de velocidad de propagación de ondas, efectuados en la misma serie de muestras de un determinado concreto

II.4.5.3. Módulo de Elasticidad

Se denomina módulo de elasticidad (E_c) a la relación entre la tensión aplicada y la deformación producida. La tensión (f) se mide en kgf/cm^2 y la deformación unitaria (ϵ) es adimensional (mm/mm), por lo que las unidades del módulo son las mismas que las de tensión. Además de su comportamiento elástico, los materiales pueden presentar en algún tramo de la curva representativa otro comportamiento inelástico, en el cual la deformación producida por la carga no desaparece totalmente al producirse la descarga.

En la práctica, para el concreto simple se usa fundamentalmente el módulo de elasticidad a compresión, el cual se puede determinar en laboratorio. Este ensayo se hace generalmente para trabajos de investigación.

CAPÍTULO III: MÉTODO

III.1. Aspectos Generales

El presente trabajo se corresponde con una investigación experimental, ya que se estudia el comportamiento de un material, como el concreto, con la adición de otro material, el microsíllice, con un fin específico y en base a resultados experimentales.

Para el estudio del comportamiento del concreto se realizaron ensayos de compresión, módulo de elasticidad, ultrasonido, ensayos de agregados y ensayos de cemento para dos tipos de muestras, unas patrones y otras con microsíllice como sustitución de parte del cemento de mezcla, y se elaboraron comparaciones de resultados a fin de documentar los posibles cambios de resistencia que produce el microsíllice en la mezcla de concreto.

Los ensayos se hicieron para dos tipos de resistencias: resistencias bajas (180 Kg/cm^2) y resistencias medias (250 Kg/cm^2). Para esto se elaboraron los diseños de mezclas de acuerdo al método presentado en el "Manual del Concreto Estructural" (Joaquín Porrero, 2004). Para las mezclas que debían de contener microsíllice se sustituyó un diez por ciento (10%) del cemento de diseño por microsíllice.

Para la elaboración de los diseños de mezcla se realizó la caracterización de los agregados finos y gruesos, mediante los ensayos pertinentes establecidos en las normas COVENIN.

Los materiales e instrumentos que se utilizaron en la investigación fueron: cemento, agua, piedra, arena, microsíllice, Cono de Abrams, conchas cilíndricas, extensómetros, tamices, vernier, hojas de recolección de datos, balanza, entre otros.

La maquinaria necesaria correspondió a: mezcladora, máquina para hacer ensayos a compresión, horno de secado, entre otros.

III.2. Método de Trabajo

III.2.1. Almacenamiento de agregados, cemento y microsílíce

Los agregados utilizados fueron piedra picada, tamaño máximo 1” y arena lavada, estos tanto gruesos como finos se almacenaron en bolsas plásticas de aproximadamente 20 Kg de capacidad, el cemento se depositó en sacos de 42,5 Kg y el Microsílice en sacos de plástico de 15 Kg de capacidad; estos se guardaron en el depósito del Laboratorio de Mezclado del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).



Fotos # III.1 y # III.2. Almacenamiento de cemento. Almacenamiento de agregados.

III.2.2. Análisis de los agregados

III.2.2.1. Granulometría

El ensayo granulométrico del agregado grueso se realizó según la norma COVENIN 255-98 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”, donde se establece el procedimiento que consiste en pasar una muestra representativa del agregado, para el caso del presente se utilizó una muestra de 20kg, a través de tamices de distintos tamaños, que varían de 1 ½” hasta ¼”, ordenados de mayor a menor.

Con los resultados de este ensayo se pudieron realizar las tablas con las cuales pudo ser posible dibujar la curva granulométrica (*Porcentaje de pasantes Vs. Tamaño de partículas*). Los porcentajes de pasantes deben estar contenidos entre los valores establecidos por la norma. (*Ver tabla # 2.1*).

Para los agregados finos se utilizó una muestra de 500g, previamente secada al horno durante 24 horas. El procedimiento se realizó según las especificaciones de la norma COVENIN 255-98 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”, la cual establece en este caso, que la muestra de agregado debe ser distribuida a través de tamices que varían del 3/8” al #200.

Con estos resultados se obtuvo la curva granulométrica del agregado fino. La granulometría obtenida de este ensayo debe de estar dentro de los valores establecidos por la norma (*Ver tabla # 2.2*).



Fotos # III.3 y # III.4 Tamizadora mecánica para granulometría de agregado grueso. Cedazos para granulometría de agregado fino.

III.2.2.2. Porcentaje de humedad

Para determinar el porcentaje de humedad del agregado fino, se siguió procedimiento que está establecido en la norma COVENIN 1375-79 “Método de ensayo para determinar por secado el contenido de humedad total y superficial del agregado”, donde se establece el procedimiento que se debe seguir. Para esto se tomó una muestra de 500 g de agregado, fue pesada en su estado húmedo, luego se colocó a secar en el horno a 105° C durante 24 horas, luego de este tiempo se tomó una nueva medición del peso de la muestra, esta vez en estado seco. El mismo procedimiento fue realizado para una muestra de 1500 g de agregado grueso.

El cociente entre la masa de agua evaporada por secado y la masa del agregado seco es el valor de la humedad total de la muestra, esto se expresa como porcentaje de humedad.

El contenido de humedad ($w\%$) de la muestra de agregado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$w(\%) = \frac{M_t - M_1}{M_1} * 100$$

Ecuación # III.1 Contenido de humedad del agregado fino o grueso.

Donde:

M_t : Masa en el aire de la muestra en estado húmedo.

M_1 : Masa en el aire de la muestra en estado seco.

III.2.2.3. Densidad y porcentaje de absorción de los agregados

Se determinó el porcentaje de absorción, densidad nominal y densidad aparente para los agregados gruesos y finos.

Para el agregado fino, se trabajó con una muestra de 500g, el ensayo se hizo siguiendo los parámetros que establece la norma COVENIN 268-98 "Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción".

En este caso se determinó la masa del agregado fino con superficie seca (A_{sss}), según el método indicado en la norma. Para esto se utilizó la muestra de agregado fino secada al horno a una temperatura de (110 ± 5) °C y previamente pesada con una balanza, se dejó enfriar y se sumergió en agua durante (24 ± 4) h, luego de ese tiempo se extiende la muestra sobre una superficie plana y no absorbente y se expone a una corriente de aire tibio a fin de obtener un secado homogéneo y uniforme, luego de esto se realiza el ensayo del cono, establecido en las normas, para determinar si existe o no humedad superficial en las partículas

constituyentes del agregado. De no alcanzar la condición deseada se vuelve a secar la muestra hasta lograr la condición de saturada con superficie seca y toma el valor de la masa.



Foto # III.5 Ensayo del cono para determinar la condición de saturado con superficie seca del agregado fino.

Posteriormente se procedió a la utilización del picnómetro, en procedimiento consistió en llenarlo parcialmente de agua y agregar mientras se va agitando el mismo, la muestra de 500g de agregado fino con superficie seca. Se ajusta la temperatura a $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ y se llena de agua hasta su capacidad de calibración, posteriormente se determino la masa del picnómetro con la muestra y el agua, así como también la masa del picnómetro con el agua.



Foto # III.6 Colocación de la muestra de agregado fino dentro del picnómetro

La densidad aparente (ρ_s) de la muestra en condición de saturada y con superficie seca del agregado fino, se calculó con la siguiente ecuación:

$$\rho_s = \frac{d * M_s}{M_a + M_s - M_{pa}} * 100$$

Ecuación # III.2 Densidad aparente de la muestra de agregado fino en condición de saturada y con superficie seca.

Donde:

M_s : Masa en el aire de la muestra de agregado fino en condición saturada con superficie seca.

d : Densidad del agua.

M_a : Masa del picnómetro con agua.

M_{pa} : Masa del picnómetro con el agua y la muestra de suelo.

Con los datos obtenidos de los ensayos del agregado fino, también fue posible determinar la densidad nominal (ρ) de la muestra de agregado fino mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{d * M_1}{M_a + M_1 - M_{pa}} * 100$$

Ecuación # III.3 Densidad Nominal de la muestra de agregado fino.

Donde:

M_1 : Masa en el aire de la muestra agregado fino en estado seco.

d : Densidad del agua.

M_a : Masa del picnómetro con agua.

M_{pa} : Masa del picnómetro con el agua y la muestra de suelo.

La diferencia de masas entre la muestra en condición saturada con superficie seca y la muestra seca pesada en el aire, dividida entre la masa de la muestra seca pesada al aire, será la absorción del agregado fino.

El porcentaje de absorción del agregado fino se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{(M_s - M_1)}{M_1} * 100$$

Ecuación # III.4 Porcentaje de absorción de la muestra de agregado fino.

Donde:

M_s : Masa en el aire de la muestra de agregado fino en condición saturada con superficie seca.

M_1 : Masa en el aire de la muestra agregado fino en estado seco.

En el caso del agregado grueso la muestra con la cual se trabajó fue de 10 Kg y se siguieron los procedimientos establecidos en la norma COVENIN 269-98 “Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción”.

Se determinó el peso del agregado en condición de saturado con superficie seca. Para este se lavó el agregado a fin de eliminar las impurezas superficiales que el mismo pueda contener y posteriormente se seco al horno a una temperatura de entre 100°C y 110°C. Una vez seco el agregado se sumergió en agua durante un tiempo de (24 ± 4) horas. Pasado este tiempo se sacó el agregado grueso del agua y se secó con un paño no absorbente hasta hacer desaparecer la película de agua superficial presente en el mismo, se pesó en la balanza y se obtuvo el peso del agregado en condición saturada con superficie seca.

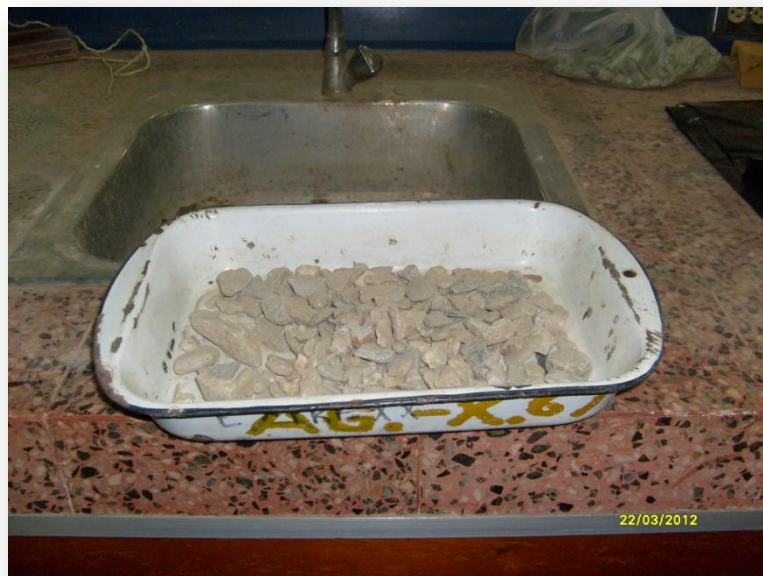


Foto # III.7 Muestra de agregado grueso secada al horno.

Para determinar el peso sumergido se introdujo la muestra en un envase lleno de agua y se determinó su masa empleando la balanza.

Finalmente se determinó el peso seco de la muestra, para lo cual se introdujo la muestra en el horno a una temperatura de entre 100°C y 110°C, pasadas aproximadamente 24 horas se midió la masa de la muestra seca.



Foto # III.8 Determinación de la masa del agregado sumergido en agua.

Finalmente se calculó la densidad aparente de la muestra saturada con superficie seca del agregado fino, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$\rho_s = \frac{d * M_2}{(M_{s2} - M_3)} * 100$$

Ecuación # III.5 Densidad aparente de la muestra de agregado seco en condición de saturada y con superficie seca.

Donde:

M₂: Masa en el aire de la muestra seca de agregado grueso.

M_{s2}: Masa en el aire de la muestra de agregado grueso en condición de saturada y con superficie seca.

M_3 : Masa sumergida en agua de la muestra de agregado grueso.

d : Densidad del agua.

Para la densidad nominal se utilizó la ecuación siguiente:

$$\rho = \frac{d * M_2}{M_2 - M_3} * 100$$

Ecuación # III.6 Densidad Nominal de la muestra de agregado grueso.

Donde:

M_2 : Masa en el aire de la muestra seca de agregado grueso.

M_3 : Masa sumergida en agua de la muestra de agregado grueso.

d : Densidad del agua.

III.2.3. Diseño de mezclas

Luego de haber realizado los ensayos anteriormente mencionados a los agregados finos y gruesos, se procedió al diseño de las mezclas de concreto, el cual se realizó según el método establecido en el “Manual del Concreto Estructural” (Joaquín Porrero 2004), en su capítulo VI, relativo a diseño de mezclas.

El método considera, en primer término, un grupo de variables que constituyen su estructura fundamental: dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia, éstas se vinculan a través de dos leyes, Relación Triangular y Ley de Abrams. También se toman en cuenta variables que tienen un carácter general como tamaño máximo, porcentaje de humedad, porcentaje de absorción y tipo de agregado.

Los valores de resistencia a compresión, que se desearon alcanzar a los 28 días fueron de 180 y 250 Kgf/cm^2 . Para poder lograr esta resistencia se estimó una desviación estándar de 32 Kgf/cm^2 ,

considerando que el control de calidad de la mezcla fue bueno. (Ver tabla # 3.1). Por lo que las mezclas fueron diseñadas para 212 Kgf/cm^2 y 282 Kgf/cm^2 respectivamente.

Descripción del grado de control	σ (kgf/cm^2)
Sin ningún control (Inaceptable en estructuras de edificaciones).	70
Control visual de los agregados y rechazo de aquellos que aparentan muy mala calidad o que son muy diferentes de los que se están usando. Control visual de la mezcla por la trabajabilidad aparente (Control pobre).	50
Como en el anterior, pero se conocen las granulometrías de los agregados que se están usando por ensayos que se hicieron una vez; se es riguroso en el rechazo de agregados y se comprueban de vez en cuando los asentamientos de las mezclas con el Cono de Abrams (Control intermedio).	40
A cada lote de agregados se le determina algún índice granulométrico y de calidad; solo se aceptan los que estén dentro de ciertos límites pre-establecidos. Se controla la humedad de los agregados. Se tiene en cuenta la marca y lote de cemento. La dosificación es exclusivamente por peso; los sistemas de pesajes son automáticos y son calibrados ocasionalmente. El asentamiento con el Cono se mide sistemáticamente y se rechazan las mezclas que no estén dentro de ciertos límites. No se permite la adición de agua posterior al mezclado, ni el espaciamiento de las mezclas por tiempo de espera (Control bueno).	32
Igual que el anterior pero con márgenes de aceptación muy estrictos. Uso de al menos tres agregados de granulometría complementarias. Limitación de la humedad de los agregados en el momento de su uso y, además, correcciones por humedad, lote y marca de cemento y aditivo, efectuadas mediante ajustes en el diseño. Revisión y calibración de los equipos de forma periódica y sistemática (Control excelente).	24

Tabla # III.1 Desviación estándar en el diseño de mezcla según control de calidad de los agregados.⁶

⁶ Fuente: Porrero, J. y otros, ibídem, Pág. 338

En el caso de las mezclas de concreto con sustitución microsíllice, se utilizó un diseño de mezcla idéntico al anterior usado para las muestras patrones al cual sólo se le cambio la cantidad de cemento, sustituyendo un 10% de su peso por microsíllice. Posteriormente se realizaron otras mezclas con adición de 10% y 15% de microsíllice, para la cual se mantuvo el mismo diseño de mezcla patrón agregando microsíllice dichos porcentajes en peso.

III.2.3.1. Relación Agua/cemento.

La relación agua/cemento fue calculada mediante la aplicación de la Ley de Abrams, para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$\alpha = 3,147 - 1,065 * \text{Log}R_{28}$$

Ecuación # III.7 Relación agua/cemento.

Donde:

R_{28} : Resistencia esperada a los 28 días.

α : Relación agua cemento

Una vez calculada la relación agua/cemento por medio de la Ley de Abrams, se procedió a realizar las correcciones de la misma mediante la aplicación de los factores (K_r) para tamaño máximo (Ver tabla # 3.2) y (k_a) para los tipos de agregados (Ver tabla # 3.3).

Tamaño Máximo	(1/4")	(3/8")	(1/2")	(3/4")	(1")	(1 1/2")	(2")	(2 1/2")	(3")
Factor K_r	1,6	1,3	1,1	1,05	1	0,91	0,82	0,78	0,74

Tabla # III.2 Factores de corrección de la relación agua/cemento por tamaño máximo.⁷

⁷ Fuente: Porrero, J. y otros, ibídem, Pág. 136

Gruesos Finos	Triturados	Semitriturados	Canto Rodado
Arena Natural	1	0,97	0,91
Arena Triturada	1,4	1,1	0,93

Tabla # III.3 Factores de corrección de la relación agua/cemento por tipo de agregados.⁸

Luego de obtener los factores de corrección, la relación agua/cemento corregida se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\alpha_c = \alpha * Kr * Ka$$

Ecuación # III.8 Relación agua/cemento corregida.

Donde:

α_c : Relación agua cemento corregida.

α : Relación agua cemento calculada.

Kr: Factor de corrección por tamaño máximo del agregado.

Ka: Factor de corrección por tamaño tipo de agregado.

III.2.3.2. Relación Triangular, cantidad cemento a utilizar.

Para obtener la cantidad de cemento a mezclar, se utilizó la relación triangular, se asumió un asentamiento de 7,5 cm, dicha ecuación es la siguiente:

$$C = 117,2 * \frac{T^{0,16}}{\alpha^{1,8}}$$

Ecuación # III.9 Ecuación de la relación triangular.

⁸ Fuente: Porrero, J. y otros, ibídem, Pág. 137

Donde:

C: Dosis de cemento en Kgf/m^3 .

T: Asentamiento en cm.

α : Relación agua/cemento.

Posteriormente se debió de realizar la corrección de la cantidad de cemento de la mezcla, para esto se debió aplicar a la dosis de cemento calculada el factor de corrección (C1) que depende del tamaño máximo del agregado (Ver tabla # 3.4) y el factor de corrección (C2) que depende del tipo de agregado (Ver tabla # 3.5).

Tamaño Máximo	(1/4")	(3/8")	(1/2")	(3/4")	(1")	(1 1/2")	(2")	(2 1/2")	(3")
Factor C1	1,33	1,20	1,14	1,05	1	0,93	0,88	0,85	0,82

Tabla # III.4 Factores de corrección de la cantidad de cemento por tamaño máximo de agregados.⁹

Gruesos Finos	Triturados	Semitriturados	Canto Rodado
Arena Natural	1	0,93	0,90
Arena Triturada	1,28	1,23	0,96

Tabla # III.5 Factores de corrección de la cantidad de cemento por tipo de agregados.¹⁰

⁹ Fuente: Porrero, J. y otros, ibídem, Pág. 141

¹⁰ Fuente: Porrero, J. y otros, ibídem, Pág. 142

Luego de obtener los factores de corrección, la cantidad de cemento corregido se calculó mediante la siguiente expresión:

$$C_c = C * C1 * C2$$

Ecuación # III.10 Cantidad de cemento corregida.

Donde:

Cc: Dosis de cemento corregida en Kg/m³.

C: Dosis de cemento calculada en Kg/m³.

C1: Factor de corrección por tamaño máximo del agregado.

C2: Factor de corrección por tipo de agregado.

III.2.3.3. Volumen de Cemento en la mezcla.

Para obtener el volumen que ocupa el cemento en la mezcla de concreto, se debe de dividir el peso del cemento entre su peso específico. El peso específico del cemento para mezclas de concreto en el seno de agua, se estima que se encuentra entre 3,25 y 3,35 y se recomienda utilizar un valor promedio de 3,33.

III.2.3.4. Volumen de aire atrapado y dosis de agua.

Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire es aportado por los materiales y es la que queda atrapada en la masa de concreto. Son parte inevitable de toda pasta. Este volumen de aire se determina mediante la siguiente expresión:

$$V = C/P$$

Ecuación # III.11 Volumen de aire atrapado en la mezcla de concreto.

Donde:

V: Volumen de aire atrapado en m^3 .

C: Cantidad de cemento en Kgf/m^3 .

P: Tamaño máximo del agregado.

La cantidad de agua de diseño se calculó mediante la siguiente expresión:

$$Ad = C * \alpha$$

Ecuación # III.12 Agua de diseño.

Donde:

Ad: Cantidad de agua en Kgf/m^3 .

C: Cantidad de cemento en Kgf/m^3 .

α : Relación agua cemento.

III.2.3.5. Volumen de los agregados.

Para determinar el volumen de los agregados que compondrían la mezcla de concreto, en primer lugar fue necesario calcular el peso específico de los agregados combinados. Para ello se utilizaron los valores de peso específico del agregado fino y del agregado grueso, los cuales fueron obtenidos en los ensayos de agregados.

Para el cálculo del peso específico de los agregados combinados se utilizó la siguiente ecuación:

$$\gamma_{a+g} = \gamma_g * (1 - \beta) + \gamma_a * \beta$$

Ecuación # III.13 Peso específico de las combinaciones de los agregados.

Donde:

γ_{a+g} : Peso específico de los agregados combinados.

γ_g : Peso específico del agregado grueso.

γ_a : Peso específico del agregado fino.

β : Relación Beta de los agregados.

Una vez obtenido el peso específico de los agregados combinados se procedió a calcular la dosis total de los agregados gruesos y finos, esta se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$A + G = \gamma_{a+g} * (1000 - 0,3C - a - V)$$

Ecuación # III.14 Cantidad total de agregados en la mezcla de concreto.

Finalmente se calculo la dosis de cada uno de los agregados, esta se hizo a través de la Relación Beta (β) de los agregados, esta se obtuvo mediante el método gráfico para el diseño de mezclas establecidas en el “Manual de Concreto Estructural”.

La cantidad de agregado fino y grueso, se determino mediante la Ecuación #3.15 y la Ecuación #3.16 respectivamente.

$$A = (A + G)\beta$$

Ecuación # III.15 Cantidad de agregado fino en la mezcla de concreto.

Donde:

A: Peso del agregado fino en Kg/m³.

(A+G): Peso de la combinación de agregados finos y gruesos.

β : Relación Beta de los agregados.

$$G = (A + G) - A$$

Ecuación # III.16 Cantidad de agregado grueso en la mezcla de concreto.

Donde:

G: Peso del agregado grueso en Kg/m³.

III.2.3.6. Corrección por humedad del agregado.

Debido a que se conocían los valores de la absorción y el porcentaje de humedad de los agregados finos y gruesos, ya que se obtuvieron experimentalmente mediante los procedimientos anteriormente descritos, se procedió a corregir el agua de diseño de la mezcla de concreto.

Para esto se determino el peso del agua contenida tanto en el agregado fino como en el agregado seco, esto se realizó cálculo mediante las expresiones que se presentan a continuación:

$$G_{sss} = \frac{G * (100 + w)}{(1000 + A_b)}$$

Ecuación # III.17 Humedad aportada a la mezcla por el agregado grueso.

Donde:

G_{sss}: Peso del agregado grueso en condición de saturado con superficie seca.

G: Peso del agregado grueso a utilizar

w: Humedad del agregado grueso.

Ab: Absorción del agregado grueso.

$$A_{sss} = \frac{A * (100 + w)}{(1000 + A_b)}$$

Ecuación # III.18 Humedad aportada a la mezcla por el agregado fino.

Donde:

A_{sss}: Peso del agregado fino en condición de saturado con superficie seca.

A: Peso del agregado fino a utilizar.

w: Humedad del agregado fino.

Ab: Absorción del agregado fino.

Luego de conocidos estos valores, se determinó la cantidad de agua que se debe de agregar a la mezcla, es decir el agua de mezclado. para esto se utilizó la ecuación # 3.19.

$$A_m = A_d + (A_{sss} - A) + (G_{sss} - G)$$

Ecuación # III.19 Cálculo de la cantidad de agua a utilizar en la mezcla.

Finalmente, luego de realizado el diseño de mezcla, se elaboro la dosificación para la cantidad de mezcla de concreto que se necesitaría. Se elaboraron catorce probetas cilíndricas y se considero un desperdicio de concreto del veinticinco por ciento, por lo que se trabajo con mezclas de 0,09 m³.

Para el caso de las mezclas con sustitución de cemento por microsíllice, se retiro el porcentaje del peso de cemento que se deseaba

sustituir, en este caso 10%, y se agregó ese peso en microsílice. Esto se hizo para las mezclas de 180 kgf/cm² y 250 kgf/cm².

En el caso de las mezclas con adición de microsílice, se agregó el porcentaje deseado de este material medido respecto al peso de cemento, los porcentajes adicionados fueron de 10% y 15%. Esto se hizo para las mezclas de 250 kgf/cm², se realizó de manera adicional a fin de constatar que efectos causa distintos porcentajes de microsílice en una misma mezcla de concreto.

III.2.4. Mezclado

Se realizaron seis mezclas de concreto, dos de ellas mezclas patrones y las otras cuatro con microsílice, como ya se mencionó anteriormente, para cada una de ellas se elaboraron catorce probetas cilíndricas. Debido a que cada molde de concreto tiene aproximadamente un volumen de 5,3 *litros* y considerando un desperdicio de un 25 %, se hicieron mezclas de 90 *litros*, para lo que se utilizó una mezcladora de 100 *litros* de capacidad.

Una vez conocida la dosificación de los materiales a mezclar, obtenida del diseño de mezcla, se procedió a realizar el mezclado de acuerdo a los siguientes pasos:

- a) Se aceitaron todos los moldes que se utilizarían para el vaciado de la mezcla de concreto.

- b) Se pesaron los materiales a mezclar, para lo cual se empleó la balanza del laboratorio de concreto fresco del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME). (Ver foto # 3.9 y # 3.10).

- c) Se añadió en la mezcladora, ya encendida, la totalidad del agregado grueso y fino, y se deja mezclar todo durante aproximadamente cinco minutos.
- d) Se agregó aproximadamente la mitad del agua y se mezcla durante aproximadamente tres minutos.
- e) Se procedió a agregar todo el cemento y el resto del agua de la mezcla, y se dejó mezclando durante unos minutos. (Ver foto # 3.11).
- f) En el caso de las mezclas con contenido de microsílice, se agregó toda la cantidad de este material en conjunto con el cemento de mezclado.



Foto # III.9 y # III.10 Pesaje de materiales en la balanza del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales.



Foto # III.11 Adición del cemento a la mezcladora.

Luego de realizar el mezclado, y de dejar reposar la mezcla por aproximadamente un minuto, se tomó una muestra para medir el asentamiento de la mezcla. Esta medición fue realizada según lo establecido en la norma COVENIN 339-03 *“Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”*. En esta norma se establece la forma la que se debe de realizar la medición del asentamiento y las características que debe tener el Cono de Abrams.

El procedimiento consistió en humedecer el molde en forma cónica y se colocó en una superficie conformada por una plancha de metal, se sujetó el molde con los pies y se llenó hasta un tercio de su altura, luego de esto se le dieron 25 golpes con la barra, de 5/8 de pulgada, este procedimiento se repitió dos veces más hasta llenar el molde. Una vez lleno se procedió a enrasarlo y se extrajo el molde en forma cónica, se procedió a medir la diferencia de altura del concreto con respecto a la parte superior del molde y de esa forma se determinó el asentamiento.



Foto # III.12 Ensayo del Cono de Abrams.

III.2.5. Preparación de las probetas cilíndricas y curado del concreto

Cada mezcla el concreto elaborado se vació en catorce probetas cilíndricas, cuyas características son las que se establecen en la norma COVENIN 338-02 *“Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”*.

Antes de empezar con el vaciado de concreto dentro de los moldes metálicos, estos fueron limpiados y untados con aceite para evitar que el concreto quedase adherido al molde cuando fragüe. Los moldes metálicos se llenaron en tres capas de igual espesor aproximadamente, siendo cada capa compactada por 25 golpes con una barra normalizada de *16 mm* de diámetro, *600 mm* de longitud y de punta con forma semi-esférica de *8mm* de radio. Luego de llenado el cilindro se procedió a realizar el enrase de la probeta tratando de que quede la superficie lo mas lisa y horizontal

posible, posteriormente se mantuvo en reposo por 24 horas y bajo techo, para evitar la retracción del concreto. (Ver Foto # 3.13).



Foto # III.13 Vaciado de concreto en moldes metálicos.

Luego de pasadas las 24 horas, se procedió a desencofrar las probetas cilíndricas y se almacenaron en un tanque con agua para realizar su curado, este procedimiento se presenta en la norma COVENIN 338-02 “*Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*”. Las probetas se mantuvieron en la piscina de curado, hasta que éstas fueron ensayadas, así se evitó la retracción por fraguado y pérdida de resistencia mecánica. (Ver fotos # 3.14 y # 3.15).



Foto # III.14 Desencofrado de probetas cilíndricas.



Foto # III.15 Piscina de curado para las probetas cilíndricas.

III.2.6. Ensayos de las probetas de concreto

Se realizaron a las probetas de concreto ensayos de ultrasonido, módulo de elasticidad, y resistencia a la compresión para todas las muestras, ya sean patrones o con microsílice.

III.2.6.1. Ensayos de ultrasonido.

El ensayo de ultrasonido se hizo para dos probetas cilíndricas de 28 días de edad.

Para este ensayo se siguieron los pasos establecidos en la norma COVENIN 1681:80 “Método para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”.

El procedimiento consistió en instalar el equipo de medición y calibrarlo, luego se debieron engrasar los extremos superiores e inferiores del cilindro a ensayar, para eso se utilizó vaselina, y se realizó la medición del tiempo que tarda en viajar el pulso ultrasónico de un extremo del cilindro al otro. Con esta medición se logra determinar la homogeneidad del concreto. Este procedimiento se realizará para todas las mezclas y resistencias, según lo establece la siguiente tabla:

MUESTRA	EDAD	CANTIDAD DE PROBETAS
MP1	28 días	2
MP2	28 días	2
MS1	28 días	2
MS2	28 días	2
MS3	28 días	2
MS4	28 días	2

Tabla # III.6 Edades de Probetas para ultrasonido.

Las muestras P1 y P2 son los patrones, las MS1 y MS2 son las que tienen sustitución de 10% microsíllice y las MS3 y MS4 son las que contienen adición de 10% y 15% de microsíllice respectivamente.

Se debe de comparar el resultado del ensayo de pulso ultrasónico de las probetas patrones con el de las que contienen microsílice.

III.2.6.2. Ensayos del Módulo de Elasticidad

Este ensayo se realizó según lo establecido en la norma COVENIN 1468:79 “Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad en probetas cilíndricas de concreto”.

Para la realización de este ensayo se debió colocar en primer lugar una capa fina de yeso “capping” sobre las dos caras circulares del cilindro, procurando que estas queden lo más planas posible. Luego se colocaron dos extensómetros en la probeta de concreto, uno al lado opuesto del otro. La carga que se aplicó fue el 40 %, de la carga que se espera que resista la probeta. Se calibró el sistema, y anotaron las medidas de los extensómetros.

Este ensayo se realizará, según el siguiente cuadro:

MUESTRA	EDAD	CANTIDAD DE PROBETAS
MP1	28 días	2
MP2	28 días	2
MS1	28 días	2
MS2	28 días	2
MS3	28 días	2
MS4	28 días	2

Tabla # III.7 Edades de Probetas para “E”.

Las muestras P1 y P2 son los patrones, las MS1 y MS2 son las que tienen sustitución de 10% microsílice y las MS3 y MS4 son las que contienen adición de 10% y 15% de microsílice respectivamente.



Foto # III.16 y # III.17 Ensayo de módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad de la muestra de concreto se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{S_c - S_d}{\varepsilon_c - 5 * 10^{-5}}$$

Ecuación # III.20 Ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad.

Donde:

E_c : Módulo de elasticidad secante.

S_c : Esfuerzo correspondiente a la carga aplicada (40% de C_{max} .)

S_D : Esfuerzo a una deformación unitaria longitudinal de $5 \cdot 10^{-5}$ mm/mm.

ϵ_c : Deformación unitaria longitudinal por el esfuerzo S_c .

Posteriormente se calculó el módulo de elasticidad teórico para el concreto de cada tipo de resistencia, y este se comparó con los resultados obtenidos experimentalmente.

El módulo de elasticidad teórico se determina según la siguiente expresión:

$$E_c = 0,137 * (W)^{1,5} * \sqrt{F_c}$$

Ecuación # III.21 Ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad teórico.

Donde:

E_c : Módulo de elasticidad teórico.

W : Peso Unitario.

F_c : Valor de resistencia a la compresión del concreto

III.2.6.3. Ensayos de resistencia a la compresión

Los ensayos de resistencia a la compresión se hicieron a todas las probetas cilíndricas, siguiendo lo que se indica en la norma COVENIN 338-02 "Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto".

Antes de empezar a realizar el ensayo, se tomaron tres medidas del diámetro del cilindro, una en su parte superior, la otra en la zona media y la última en la zona baja, donde el diámetro del cilindro estará

dado por el promedio de esas tres mediciones. También se debieron de tomar tres medidas de la altura del cilindro y promediarlas para así obtener su altura y finalmente pesaron las probetas en una balanza.

El ensayo se realizó con la máquina de ensayos a compresión del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME). Se verificó que la velocidad de aplicación de la carga sea la establecida en las normas, donde se indica que en las máquinas operadas hidráulicamente se aplicará una presión a una tasa constante dentro del rango de 1,4 kg/cm²/s a 3,5 kg/cm²/s.

Los cilindros que se colocaron en la máquina de ensayo, se centraron cuidadosamente y se comprimieron hasta que fallaran. Tanto las superficies rematadas de los cilindros y los platos de la máquina debían estar exentos de polvo, grasa y de cualquier otro material extraño.

Los cilindros se ensayaron a la edad prevista, con una tolerancia de $\pm t/14$.

t = EDAD PREVISTA PARA EL ENSAYO



Foto # III.18 Probetas cilíndricas preparadas para ser sometidas al ensayo de compresión



Foto # III.19 Probeta cilíndrica sometida al ensayo de compresión.

Los ensayos se realizaron según el siguiente cuadro:

MUESTRA	EDAD	CANTIDAD DE PROBETAS
MP1	7 días	2
MP1	14 días	2
MP1	21 días	2
MP1	28 días	6
MP2	7 días	2
MP2	14 días	2
MP2	21 días	2
MP2	28 días	6
MS1	7 días	2
MS1	14 días	2
MS1	21 días	2
MS1	28 días	6
MS2	7 días	2
MS2	14 días	2
MS2	21 días	2
MS2	28 días	6
MS3	7 días	2
MS3	14 días	2
MS3	21 días	2
MS3	28 días	6
MS4	7 días	2
MS4	14 días	2
MS4	21 días	2
MS4	28 días	6

Tabla # III.8 Edades de Probetas para ensayos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

IV.1 Análisis de los agregados

IV.1.1 Granulometría del agregado grueso.

Resultados obtenidos del ensayo de granulometría realizado al agregado grueso, donde se presentan los porcentajes de pasantes y los límites granulométricos para cada tamiz. El material estudiado fue piedra picada tamaño máximo 1".

Peso Lavado + Bandeja (Kg)	20
Peso Lavado (Kg)	19,915
Peso Bandeja (Kg)	0,085

Tabla # IV.1 Pesos de Agregado Grueso y Bandeja

Tamices (mm)	Peso de Material + Bandeja	Peso (grs)	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Pasante	Límite Superior (%)	Límite Inferior (%)
1 1/2"	0,00	0,00	0,0	0,00		
1"	0,65	560	2,8	97,16	100	90
3/4"	2,84	275	16,7	83,31	90	50
1/2"	7,49	740	54,0	46,03	45	15
3/8"	4,64	455	76,9	23,11	20	0
1/4"	2,24	215	87,7	12,28	7	0
No 4	0,60	52	90,3	9,67	-	-
No 200	0,09	10	100	0	-	-

Tabla # IV.2 Resultados del Ensayo Granulométrico del Agregado Grueso

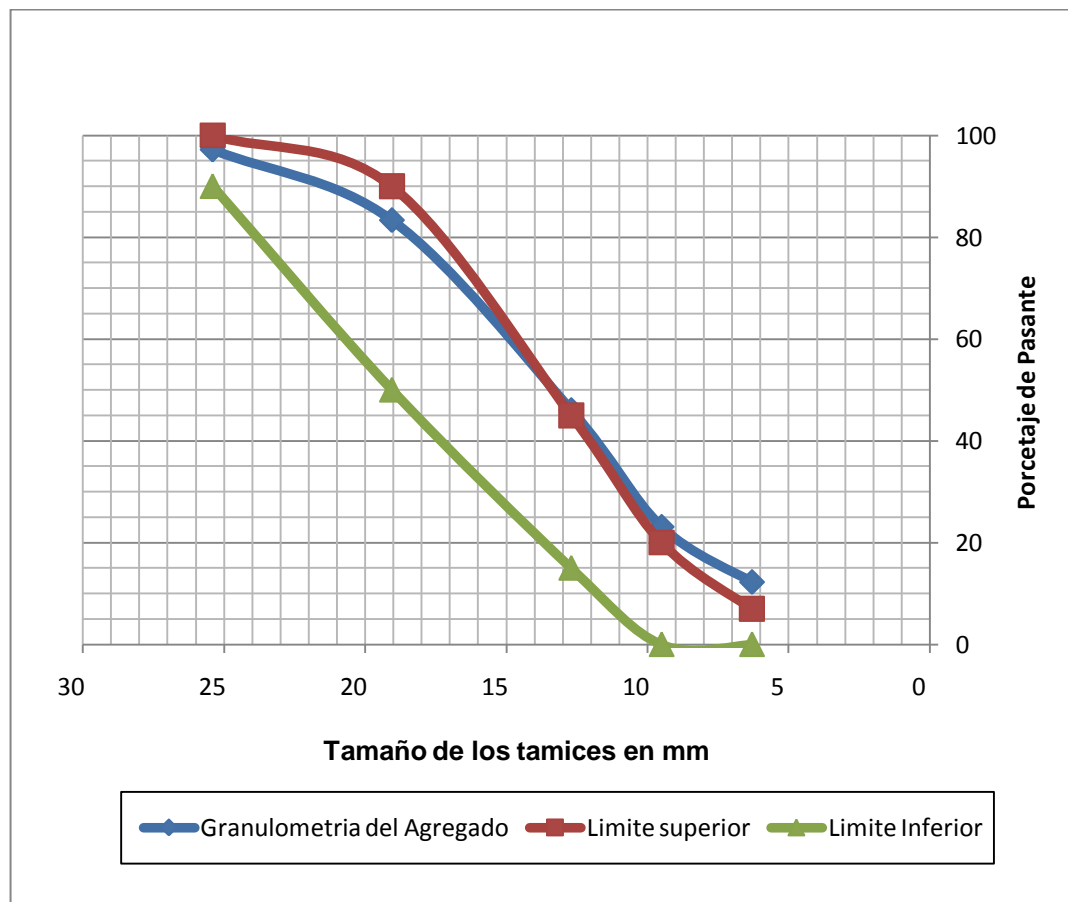


Gráfico # IV.1 Curva Granulométrica para el Agregado Grueso.

IV.1.2 Granulometría del agregado fino.

Resultados obtenidos del ensayo de granulometría realizado al agregado fino, donde se presentan los porcentajes de pasantes y los límites granulométricos para cada tamiz.

Peso Lavado + Bandeja (Kg)	0,672
Peso Lavado (Kg)	0,4705
Peso de Bandeja (Kg)	0,2015

Tabla # IV.3 Pesos de Agregado Fino y Bandeja

Tamices (mm)	Peso de Material + Bandeja	Peso (grs)	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Pasante	Límite Superior	Límite Inferior
"3/8	0,00	0	0,00	100,00	100	100
"1/4	0,32	120	25,40	74,60	100	100
No 4	0,24	40	33,37	66,63	85	100
No 8	0,28	80	49,84	50,16	60	95
No 16	0,27	70	63,76	36,24	40	80
No 30	0,26	60	75,77	24,23	20	60
No 50	0,25	50	86,50	13,50	8	30
No 100	0,24	40	94,26	5,74	2	10
No 200	0,22	20	98,19	1,81	0	5

Tabla # IV.4 Resultados del Ensayo Granulométrico del agregado fino.

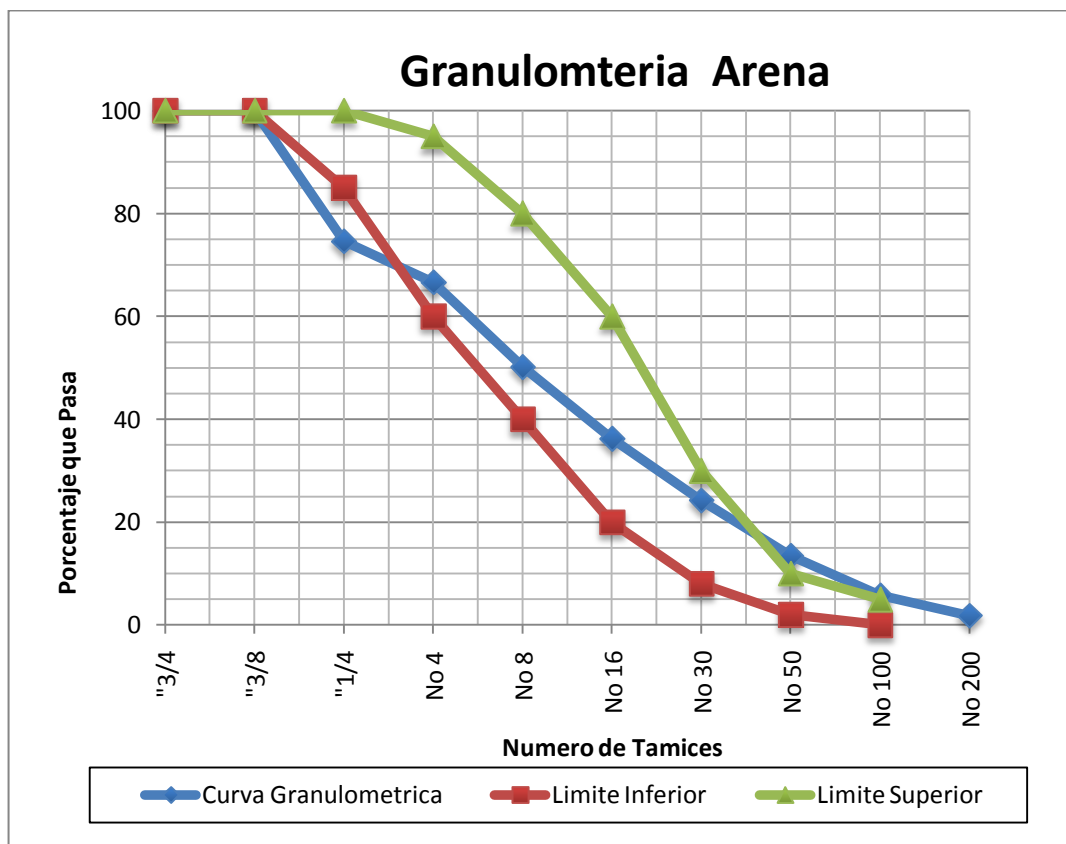


Gráfico # IV.2 Curva Granulométrica para el Agregado Fino.

IV.1.3 . Porcentaje de humedad de los Agregados.

A continuación se presentan los resultados del ensayo de contenido de humedad, obtenidos mediante la Norma COVENIN 1375-79 “Método de ensayo para determinar por secado el contenido de humedad total y superficial del agregado” para los agregados.

IV.1.3.1 Contenido de Humedad del Agregado Fino.

Peso aire muestra húmeda (g)	500
Peso aire muestra seca (g)	472
Peso agua (g)	28
Contenido de humedad (%)	5,93

Tabla # IV.5 Porcentaje de Humedad presente en el Agregado Fino (Arena Natural).

IV.1.3.2 Contenido de Humedad del Agregado Grueso.

Peso aire muestra húmeda (g)	1000
Peso aire muestra seca (g)	996
Peso agua (g)	4
Contenido de humedad (%)	0,40

Tabla # IV.6 Porcentaje de Humedad presente en el Agregado Grueso (Piedra Picada # 1).

IV.1.4 . Densidad y Absorción de los Agregados.

Resultados de los ensayos de densidad y absorción de los agregados, estos resultados fueron obtenidos mediante las Normas COVENIN 268-1998 y COVENIN 269-1998, para los agregados finos y gruesos respectivamente.

IV.1.4.1 Densidad y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino.

Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)	500
Peso en el aire de la muestra seca (g)	485
Picnómetro con agua (g)	1289
Picnómetro+ agua+ material (g)	1599

Tabla # IV.7 Pesos de la Muestra de Agregado Fino.

Absorción (%)	3,09
Densidad Nominal (g/ml)	2,63
Densidad Aparente (g/ml)	2,55

Tabla # IV.8 Porcentaje de Absorción, Densidad Nominal y Densidad Aparente para la muestra de Agregado Fino (Arena Natural).

IV.1.4.2 Densidad y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso.

Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca (g)	9932
Peso en el aire de la muestra seca (g)	9769
Peso en el agua de la muestra saturada (g)	5963

Tabla # IV.9 Pesos de la Muestra de Agregado Grueso.

Absorción (%)	1,67
Densidad Nominal (g/ml)	2,50
Densidad aparente (g/ml)	2,57

Tabla # IV.10 Porcentaje de Absorción, Densidad Nominal y Densidad Aparente para la muestra de Agregado Grueso (Piedra Picada # 1).

IV.2 Diseño de Mezclas

Los diseños de mezcla se realizaron mediante los procedimientos expresados en el capítulo II, se realizaron diseños para las mezclas patrones y con contenido de microsílice, las dosificaciones se presentan a continuación.

IV.2.1 Diseño de mezclas para MP1

Asentamiento esperado	7 cm	
Materiales	Kgf/ 1 m3	Kgf/0,09 m3
Cemento	288	26
Arena	1113	100
Piedra	726	65
Agua	184	17
Microsílice	0	0

**Tabla # IV.12 Diseño de Mezclas para la Muestra Patrón 1
(180 Kgf/cm²)**

IV.2.2 Diseño de mezclas para MP2

Asentamiento esperado	7 cm	
Materiales	Kgf/ 1 m3	Kgf/0,09 m3
Cemento	321	29,54
Arena	835	44,2
Piedra	981	56,1
Agua	169	14,53
Microsílice	0	0

**Tabla # IV.13 Diseño de Mezclas para la Muestra Patrón 2
(250Kgf/cm²)**

IV.2.3 Diseño de mezclas para MS1

Asentamiento esperado	7 cm	
Materiales	Kgf/ 1 m3	Kgf/0,09 m3
Cemento	259,2	23,4
Arena	1113	100
Piedra	726	65
Agua	184	17
Microsílice	28,8	2,6

Tabla # IV.14 Diseño de Mezclas para la Muestra con Microsílice 1 (180 Kgf/cm² con sustitución del 10% de cemento por microsílice)

IV.2.4 Diseño de mezclas para MS2

Asentamiento esperado	7 cm	
Materiales	Kgf/ 1 m3	Kgf/0,09 m3
Cemento	288,9	26,54
Arena	835	44,2
Piedra	981	56,1
Agua	169	14,53
Microsílice	33,1	3

Tabla # IV.15 Diseño de Mezclas para la Muestra con Microsílice 2 (250 Kgf/cm² con sustitución del 10% de cemento por microsílice)

IV.2.5 Diseño de mezclas para MS3

Asentamiento esperado	7 cm	
Materiales	Kgf/ 1 m3	Kgf/0,09 m3
Cemento	321	29,54
Arena	835	44,2
Piedra	981	56,1
Agua	169	14,53
Microsílice	32,1	3

**Tabla # IV.16 Diseño de Mezclas para la Muestra con Microsílice 3
(250 Kgf/cm² con adición de 10% de peso de cemento en microsílice)**

IV.2.6 Diseño de mezclas para MS4

Asentamiento esperado	7 cm	
Materiales	Kgf/ 1 m3	Kgf/0,09 m3
Cemento	321	29,54
Arena	835	44,2
Piedra	981	56,1
Agua	169	14,53
Microsílice	48,5	4,45

**Tabla # IV.17 Diseño de Mezclas para la Muestra con Microsílice 4
(250 Kgf/cm² con adición de 15% de peso de cemento en microsílice)**

IV.3 Cono de Abrams

Para cada mezcla se realizó el ensayo del Cono de Abrams para medir el asentamiento, este procedimiento se realizó según lo que se especifica en la Norma COVENIN 339-2003, los resultados son los expresados en las tablas # 4.17 y 4.18.

IV.3.1 Mezclas diseñadas para resistencias de 180 Kgf/cm²

Tipo de Mezcla	Asentamiento (cm)
Patrón	3
MS1	5

Tabla # IV.18 Asentamientos obtenidos para la mezcla diseñada para resistencias de 180 Kgf/cm²

IV.3.2 Mezclas diseñadas para resistencias de 250 Kgf/cm²

Tipo de Mezcla	Asentamiento (cm)
Patrón	3,5
MS2	4,5
MS3	4,5
MS4	4

Tabla # IV.19 Asentamientos obtenidos para la mezcla diseñada para resistencias de 250 Kgf/cm²

IV.4 Ensayo de Ultrasonido.

A continuación se presentan los resultados del ensayo de pulso ultrasónico realizado tanto a las muestras patrones como a las muestras con contenido de microsíllice, el ensayo se realizó según la Norma COVENIN 1681:80.

IV.4.1 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra Parón 1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$.

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla MP1				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
5	74,10	7,41E-05	0,303	4083,67
6	76,40	7,64E-05	0,301	3945,90
		V (m/s) promedio		4014,78

Tabla # IV.20 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MP1 ($f'c=180\text{Kg/cm}^2$) a los 28 días.

IV.4.2 Ensayo de Ultrasonido para la MS1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsíllice.

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla MS1				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
3	76,02	7,60E-05	0,303	3979,65
4	75,89	7,59E-05	0,303	3986,47
5	75,63	7,56E-05	0,301	3984,75
6	76,12	7,61E-05	0,304	3997,64
		V (m/s) promedio		3987,13

Tabla # IV.21 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MS1 ($f'c=180\text{Kg/cm}^2$) con sustitución de 10% de cemento por microsíllice a los 28 días.

IV.4.3 Ensayo de Ultrasonido para la MP2, $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla MP2				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	76,4	7,64E-05	0,306	4000,87
4	77,3	7,73E-05	0,297	3846,92
		V (m/s) promedio		3923,89

Tabla # IV.22 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MP2 ($f'c=250 \text{ Kgf/cm}^2$) a los 28 días.

IV.4.4 Ensayo de Ultrasonido para la MS2, $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílíce.

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla MS2				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
3	78,79	7,88E-05	0,303	3839,74
4	79,23	7,92E-05	0,303	3818,42
5	78,46	7,85E-05	0,301	3841,02
6	79,10	7,91E-05	0,304	3847,03
		V (m/s) promedio		3836,55

Tabla # IV.23 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MS2 ($f'c=250 \text{ Kgf/cm}^2$) con sustitución de 10% de cemento por microsílíce a los 28 días.

IV.4.5 Ensayo de Ultrasonido para la MS3, $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 10% de microsíllice.

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla MS3				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
3	81,38	8,14E-05	0,303	3729,01
4	80,81	8,08E-05	0,303	3754,90
5	81,17	8,12E-05	0,304	3743,99
6	81,78	8,18E-05	0,303	3704,65
		V (m/s) promedio		3733,14

Tabla # IV.24 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MS3 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$) con adición de 10% de microsíllice a los 28 días.

IV.4.6 Ensayo de Ultrasonido para la MS4, $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 15% de microsíllice.

Velocidad de la propagación de onda para la mezcla MS4				
cilindro	t (μs)	t (s)	L (m)	V (m/s)
3	81,98	8,20E-05	0,303	3689,92
4	82,54	8,25E-05	0,299	3624,51
5	82,30	8,23E-05	0,304	3693,40
6	82,49	8,25E-05	0,302	3659,03
		V (m/s) promedio		3666,71

Tabla # IV.25 Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para la MS3 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$) con adición de 15% de microsíllice a los 28 días.

IV.4.7 Relación de homogeneidad entre las muestras patrones y las muestras con contenido de microsílice para cada tipo de resistencia.

En el siguiente cuadro se presenta la relación que existe entre las muestras con contenido de microsílice y las muestras patrones. Esta relación se expresa en forma porcentual, expresando el porcentaje en que se acerca la velocidad de pulso ultrasónico de una muestra con contenido de microsílice a una muestra patrón.

Relación de homogeneidad de los Cilindros de Concreto		
Muestra	Velocidad promedio (m/s)	Relación con muestra patrón
MP1	4014,78	-
MS1	3987,13	99,31%
MP2	3923,89	-
MS2	3836,55	97,77%
MS3	3733,14	95,14%
MS4	3666,71	93,45%

Tabla # IV.26 Relación entre las velocidades de pulso ultrasónico de las muestras con contenido de microsílice y las muestras patrones para cada tipo de resistencia.

IV.5 Peso Unitario.

A continuación se presentan los valores de peso unitario promedios para cada tipo de muestra, y a distintas edades. Este valor fue determinado dividiendo el peso de cada probeta cilíndrica entre el volumen de la misma, para ello se utilizaron los datos obtenidos al momento del ensayo de compresión.

Concreto Edad (días)	7	14	21	28	Promedio
MP1 γ (Kg/m ³)	2455,39	2458,20	2421,46	2439,90	2443,74
MS1 γ (Kg/m ³)	2414,74	2419,02	2321,34	2312,11	2366,80
MP2 γ (Kg/m ³)	2358,62	2350,04	2346,16	2364,68	2354,87
MS2 γ (Kg/m ³)	2323,47	2311,85	2321,34	2312,11	2317,19
MS3 γ (Kg/m ³)	2319,10	2350,15	2419,39	2406,44	2373,77
MS4 γ (Kg/m ³)	2403,39	2470,18	2403,29	2387,94	2416,20

Tabla # IV.27 Valores de peso unitario para los distintos tipos de mezcla y a las diferentes edades.

IV.6 Ensayo de Módulo de Elasticidad

A continuación se presentan los resultados obtenidos del ensayo para la determinación del módulo de elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto (Según Norma Venezolana COVENIN 1468) para cada una de los tipos de mezclas estudiadas, así como también, los resultados derivados de los cálculos para la obtención del módulo secante. Asimismo, se representan los gráficos de los respectivos módulos de elasticidad, para cada una de las muestras de concreto.

IV.6.1 Resultados para la MP 1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	P (Kg)
1	12,812	14,96	30,03	34.800
		15,01	29,95	
		14,93	28,89	
2	12,998	15,02	30,17	32.400
		15,03	30,10	
		14,95	30,20	

Tabla # IV.28 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MP1 ($f'c=180\text{Kg/cm}^2$).

Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm^2)	Lecturas Cilindro 1 (mm)	Lecturas Cilindro 2 (mm)	Deformación unitaria	Deformación unitaria	Deformación unit Prom
0	0,00	0,106	0,154	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2000	6,82	0,117	0,163	5,50E-05	4,50E-05	5,00E-05
4000	13,64	0,124	0,170	9,00E-05	8,00E-05	8,50E-05
6000	20,46	0,133	0,178	1,35E-04	1,20E-04	1,28E-04
8000	27,28	0,145	0,190	1,95E-04	1,80E-04	1,88E-04
10000	34,10	0,156	0,199	2,50E-04	2,25E-04	2,38E-04
12000	40,93	0,166	0,211	3,00E-04	2,85E-04	2,93E-04
14000	47,75	0,177	0,221	3,55E-04	3,35E-04	3,45E-04
16000	54,57	0,186	0,231	4,00E-04	3,85E-04	3,93E-04
18000	61,39	0,195	0,239	4,45E-04	4,25E-04	4,35E-04
20000	68,21	0,203	0,248	4,85E-04	4,70E-04	4,78E-04

Tabla # IV.29 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MP1 ($f'c=180\text{Kg/cm}^2$).

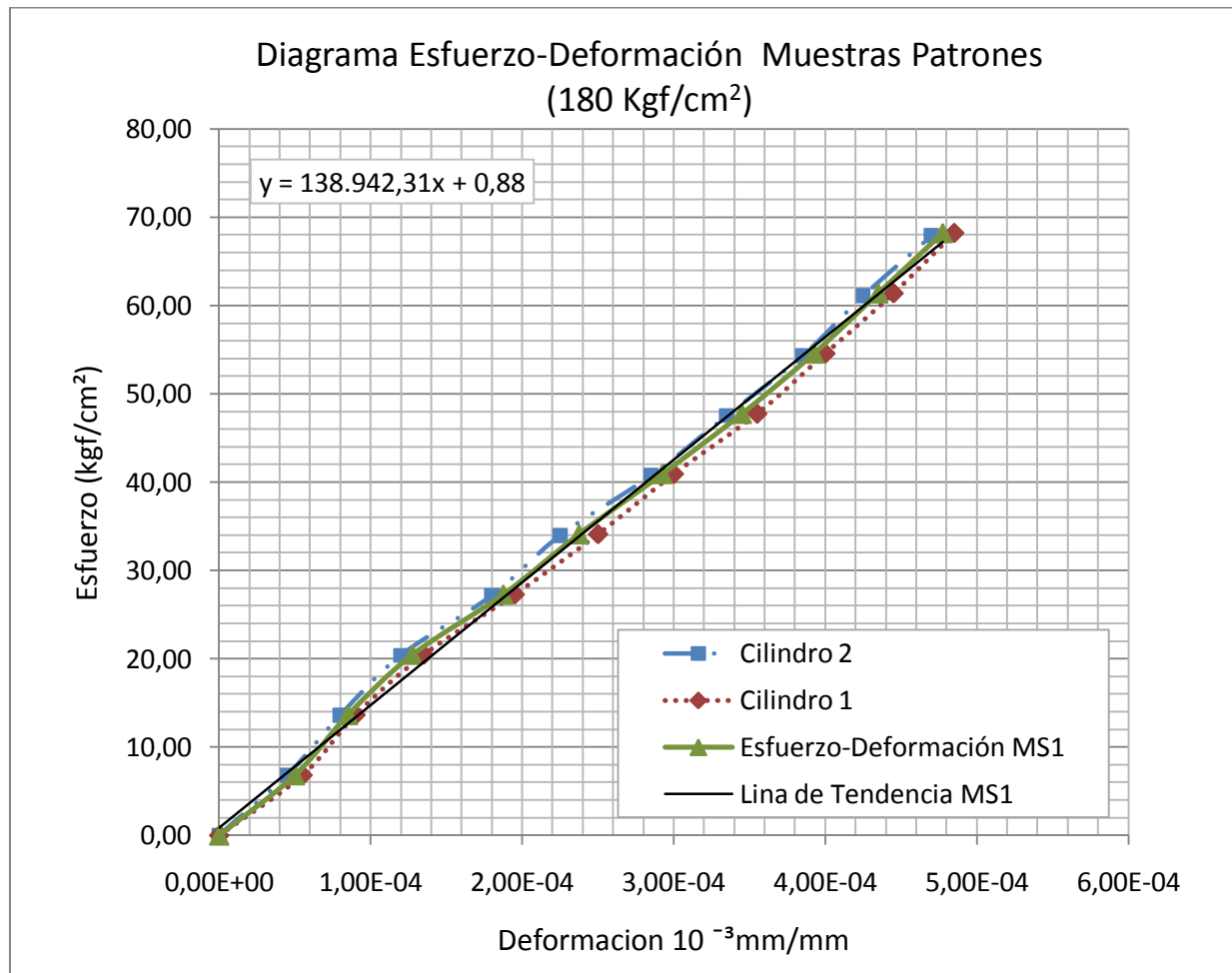


Gráfico # IV.3 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MP1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$).

σ Promedio (Kg/cm ²)	189
γ Promedio (Kg/m ³)	244×10^1
Ec. TEORICO (Kgf/cm²)	227×10^3
E_{SECANTE} (Kgf/cm²)	141×10^3

Tabla # IV.30 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MP1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$).

IV.6.2 Resultados para la MS 1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	P (Kg)
1	12,303	15,04	30,25	52.000
		15,02	30,19	
		15,00	30,15	
2	12,386	14,99	30,61	51.600
		15,06	30,38	
		14,91	30,32	

Tabla # IV.31 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MS1 ($f'c=180\text{Kg/cm}^2$).

Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm^2)	Lecturas Cilindro 1 (mm)	Lecturas Cilindro 2 (mm)	Deformación unitaria	Deformación unitaria	Deformación unit Prom
0	0,00	0,431	0,586	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1600	9,07	0,444	0,598	6,50E-05	6,00E-05	6,25E-05
3200	18,14	0,450	0,603	9,50E-05	8,50E-05	9,00E-05
4800	27,21	0,459	0,611	1,40E-04	1,25E-04	1,33E-04
6400	36,28	0,471	0,623	2,00E-04	1,85E-04	1,93E-04
8000	45,35	0,482	0,633	2,55E-04	2,35E-04	2,45E-04
9600	54,42	0,492	0,643	3,05E-04	2,85E-04	2,95E-04
11200	63,49	0,503	0,653	3,60E-04	3,35E-04	3,48E-04
12800	72,56	0,512	0,663	4,05E-04	3,85E-04	3,95E-04
14400	81,63	0,521	0,671	4,50E-04	4,25E-04	4,38E-04
16000	90,70	0,529	0,680	4,90E-04	4,70E-04	4,80E-04

Tabla # IV.32 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS1 ($f'c=180\text{Kg/cm}^2$).

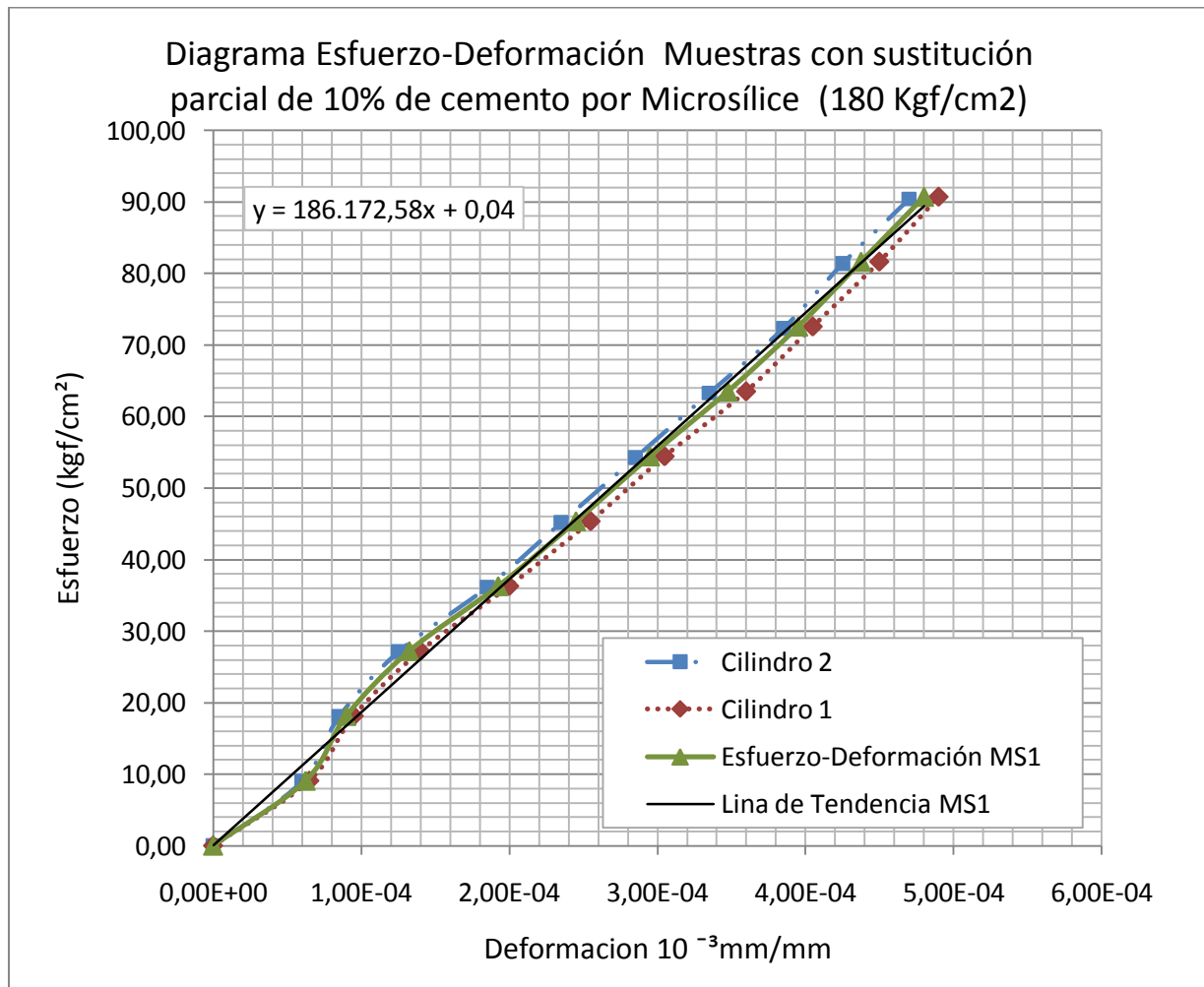


Gráfico # IV.4 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS1 ($f'c=180Kgf/cm^2$).

σ Promedio (Kg/cm ²)	231
γ Promedio (Kg/m ³)	237×10^1
Ec. TEORICO (Kgf/cm²)	240×10^3
E_{SECANTE} (Kgf/cm²)	189×10^3

Tabla # IV.33 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MS1 ($f'c=180Kgf/cm^2$).

IV.6.3 Resultados para la MP 2, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	P (Kg)
3	12,205	14,81	30,11	41.000
		14,93		
		14,88		
4	12,349	14,79	29,74	40.200
		14,93		
		15,08		

Tabla # IV.34 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MP2 ($f'c=250\text{Kg/cm}^2$).

Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm^2)	Lecturas Cilindro 1 (mm)	Lecturas Cilindro 2 (mm)	Deformación unitaria	Deformación unitaria	Deformación unit Prom
0	0,00	0,038	0,056	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
1600	9,21	0,039	0,057	5,00E-06	5,00E-06	5,00E-06
3200	18,42	0,041	0,059	1,50E-05	1,50E-05	1,50E-05
4800	27,63	0,045	0,064	3,50E-05	4,00E-05	3,75E-05
6400	36,84	0,051	0,070	6,50E-05	7,00E-05	6,75E-05
8000	46,05	0,058	0,077	1,00E-04	1,05E-04	1,03E-04
9600	55,25	0,067	0,084	1,45E-04	1,40E-04	1,43E-04
11200	64,46	0,073	0,092	1,75E-04	1,80E-04	1,78E-04
12800	73,67	0,082	0,100	2,20E-04	2,20E-04	2,20E-04
14400	82,88	0,090	0,109	2,60E-04	2,65E-04	2,63E-04
16000	92,09	0,100	0,116	3,10E-04	3,00E-04	3,05E-04

Tabla # IV.35 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MP2 ($f'c=250\text{Kg/cm}^2$).

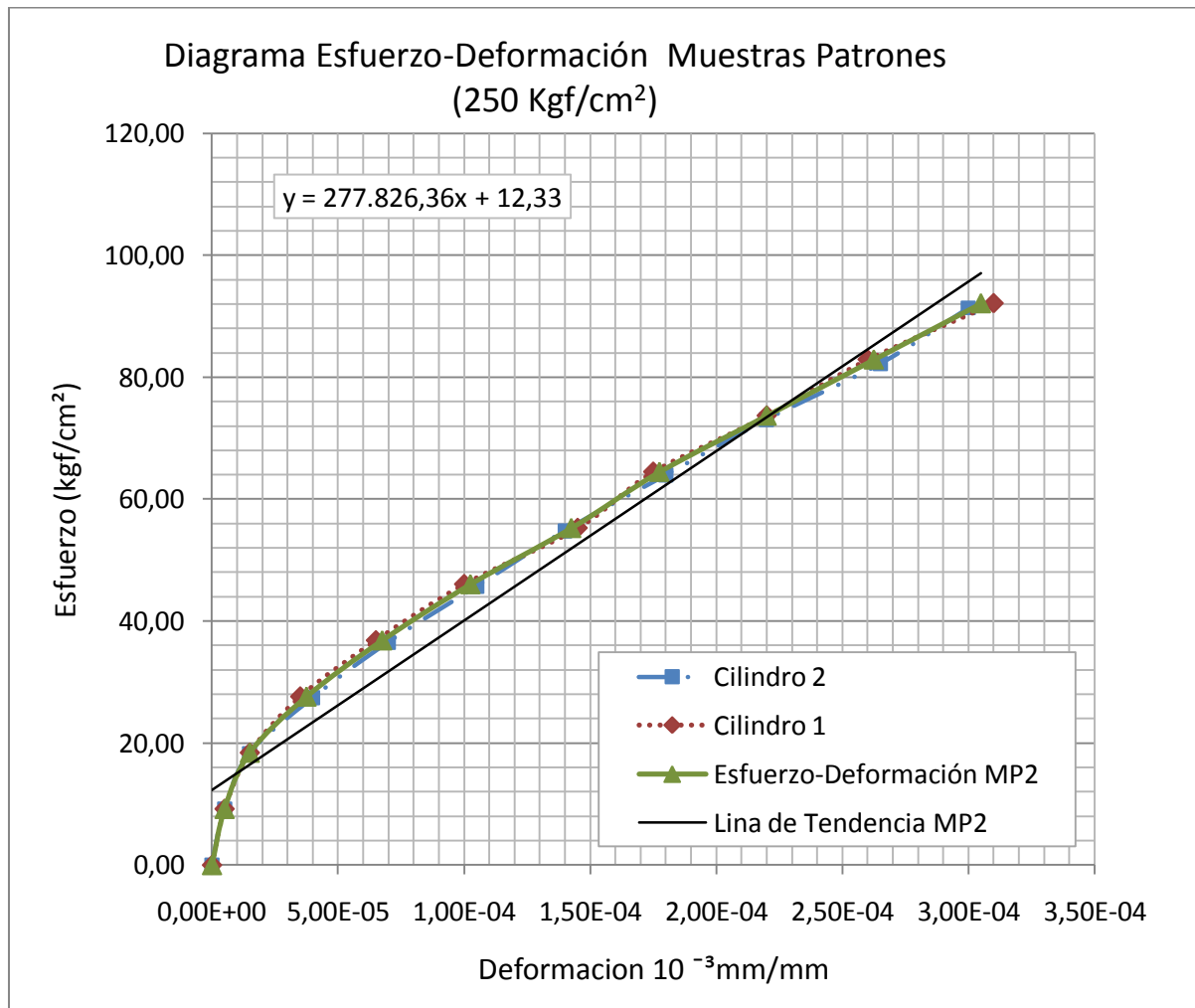


Gráfico # IV.5 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MP2 ($f'_c=250\text{Kgf/cm}^2$).

σ Promedio (Kg/cm ²)	231
γ Promedio (Kg/m ³)	235×10^1
E_c. TEORICO (Kgf/cm²)	238×10^3
E_{SECANTE} (Kgf/cm²)	258×10^3

Tabla # IV.36 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MP2 ($f'_c=250\text{Kgf/cm}^2$).

IV.6.4 Resultados para la MS2, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	P (Kg)
1	12,303	15,04	30,25	52.000
		15,02	30,19	
		15,00	30,15	
2	12,386	14,99	30,61	51.600
		15,06	30,38	
		14,91	30,32	

Tabla # IV.37 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MS2 ($f'c=250\text{Kg/cm}^2$).

Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm^2)	Lecturas Cilindro 1 (mm)	Lecturas Cilindro 2 (mm)	Deformación unitaria	Deformación unitaria	Deformación unit Prom
0	0,00	0,121	0,129	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2000	11,29	0,128	0,136	3,50E-05	3,50E-05	3,50E-05
4000	22,58	0,135	0,143	7,00E-05	7,00E-05	7,00E-05
6000	33,86	0,145	0,155	1,20E-04	1,30E-04	1,25E-04
8000	45,15	0,154	0,163	1,65E-04	1,70E-04	1,68E-04
10000	56,44	0,162	0,173	2,05E-04	2,20E-04	2,13E-04
12000	67,73	0,172	0,182	2,55E-04	2,65E-04	2,60E-04
14000	79,01	0,183	0,191	3,10E-04	3,10E-04	3,10E-04
16000	90,30	0,194	0,201	3,65E-04	3,60E-04	3,63E-04
18000	101,59	0,202	0,208	4,05E-04	3,95E-04	4,00E-04
20000	112,88	0,205	0,215	4,20E-04	4,30E-04	4,25E-04

Tabla # IV.38 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS2 ($f'c=250\text{Kg/cm}^2$).

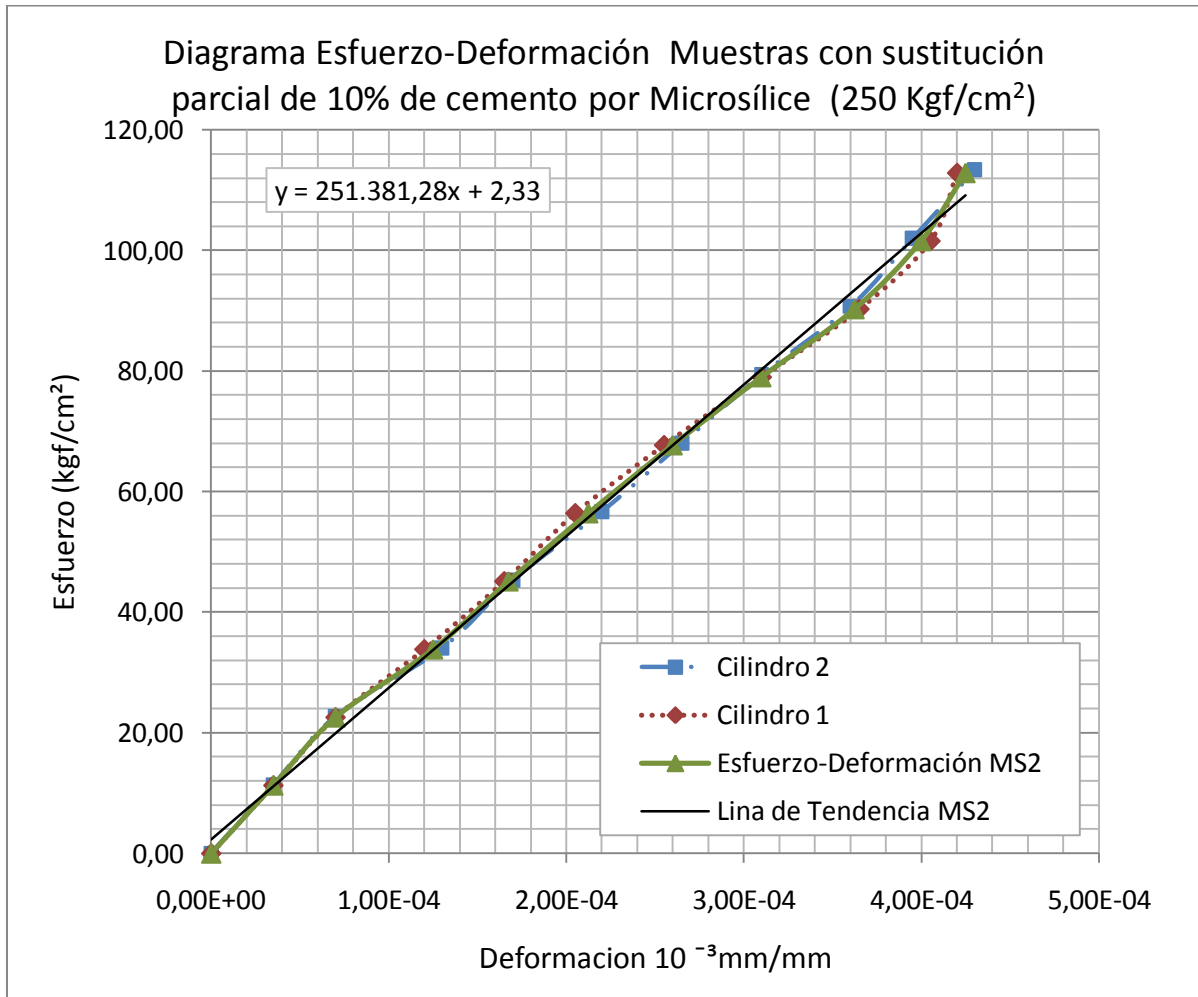


Gráfico # IV.6 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).

σ Promedio (Kg/cm ²)	284
γ Promedio (Kg/m ³)	231×10^1
Ec. TEORICO (Kgf/cm²)	257×10^3
E_{SECANTE} (Kgf/cm²)	261×10^3

Tabla # IV.39 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MS2 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).

IV.6.5 Resultados para la MS3, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	P (Kg)
1	13,008	15,01	30,93	58.000
		14,98	30,63	
		14,95	30,74	
2	12,800	15,01	30,22	56.400
		15,00	30,25	
		14,95	30,31	

Tabla # IV.40 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MS3 ($f'c=250\text{Kg/cm}^2$).

Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm^2)	Lecturas Cilindro 1 (mm)	Lecturas Cilindro 2 (mm)	Deformación unitaria	Deformación unitaria	Deformación unit Prom
0	0,00	0,154	0,326	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2200	12,48	0,158	0,330	2,00E-05	2,00E-05	2,00E-05
4400	24,97	0,169	0,339	7,50E-05	6,50E-05	7,00E-05
6600	37,45	0,180	0,349	1,30E-04	1,15E-04	1,23E-04
8800	49,93	0,191	0,360	1,85E-04	1,70E-04	1,78E-04
11000	62,41	0,201	0,369	2,35E-04	2,15E-04	2,25E-04
13200	74,90	0,211	0,379	2,85E-04	2,65E-04	2,75E-04
15400	87,38	0,219	0,387	3,25E-04	3,05E-04	3,15E-04
17600	99,86	0,229	0,397	3,75E-04	3,55E-04	3,65E-04
19800	112,34	0,236	0,406	4,10E-04	4,00E-04	4,05E-04
22000	124,83	0,248	0,415	4,70E-04	4,45E-04	4,58E-04

Tabla # IV.41 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS3 ($f'c=250\text{Kg/cm}^2$).

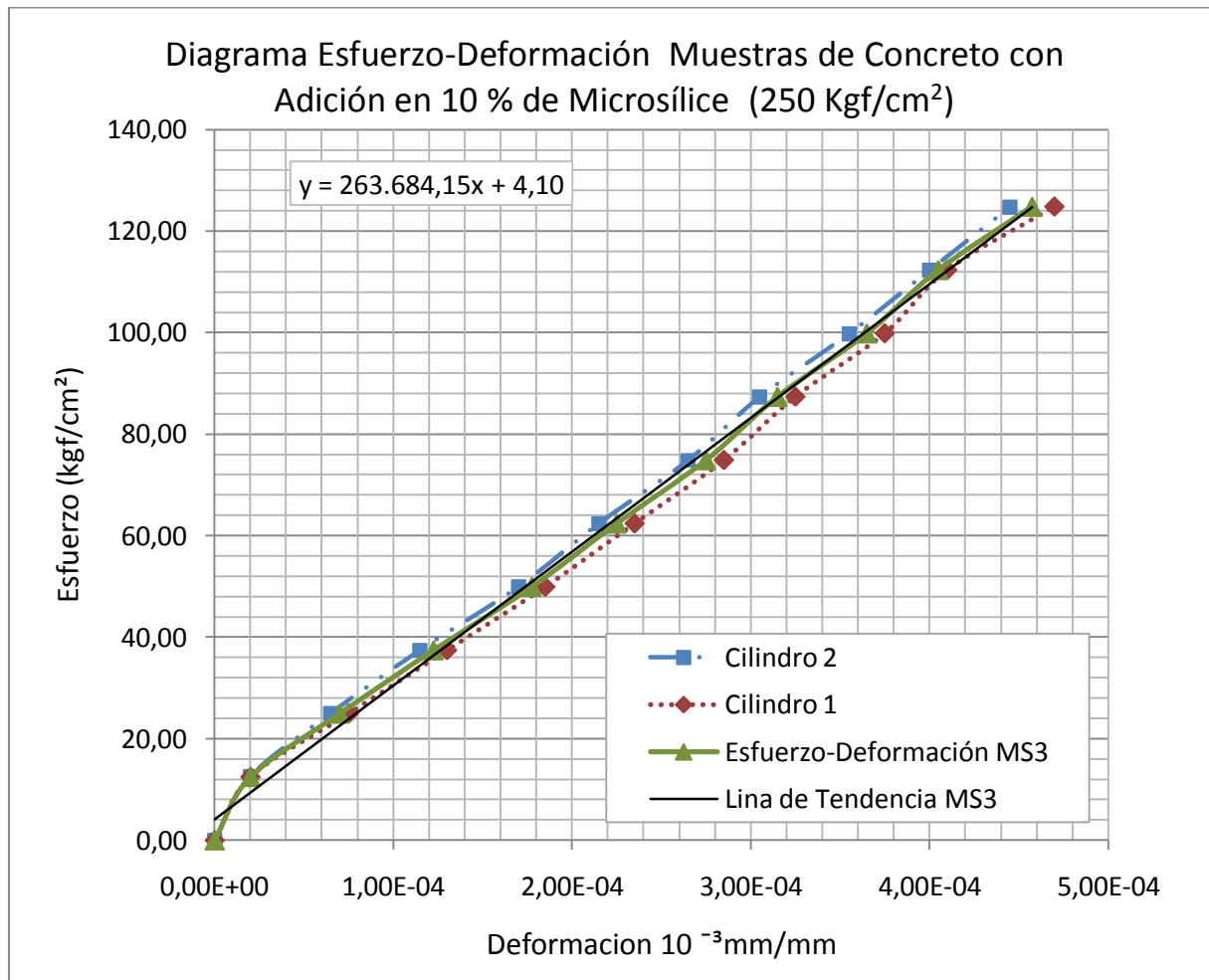


Gráfico # IV.7 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS3 ($f'c=250Kgf/cm^2$).

σ Promedio (Kg/cm ²)	334
γ Promedio (Kg/m ³)	237×10^1
Ec. TEORICO (Kgf/cm²)	289×10^3
E_{SECANTE} (Kgf/cm²)	264×10^3

Tabla # IV.42 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MS3 ($f'c=250Kgf/cm^2$).

IV.6.6 Resultados para la MS4, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	P (Kg)
2	12,523	15,05	30,05	64.000
		14,98	30,12	
		14,96	30,28	
3	12,703	14,16	30,18	60.800
		15,04	30,23	
		15,01	30,34	

Tabla # IV.43 Mediciones de los cilindros utilizados para el ensayo de Módulo de elasticidad de la MS4 ($f'c=250\text{Kg/cm}^2$).

Carga (kg)	Esfuerzo (Kg/cm^2)	Lecturas Cilindro1 (mm)	Lecturas Cilindro 2 (mm)	Deformación unitaria	Deformación unitaria	Deformación unit Prom
0	0,00	0,116	0,031	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
2500	14,15	0,118	0,033	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05
5000	28,31	0,128	0,044	6,00E-05	6,50E-05	6,25E-05
7500	42,46	0,142	0,060	1,30E-04	1,45E-04	1,38E-04
10000	56,61	0,156	0,075	2,00E-04	2,20E-04	2,10E-04
12500	70,77	0,167	0,088	2,55E-04	2,85E-04	2,70E-04
15000	84,92	0,178	0,097	3,10E-04	3,30E-04	3,20E-04
17500	99,07	0,187	0,109	3,55E-04	3,90E-04	3,73E-04
20000	113,23	0,199	0,118	4,15E-04	4,35E-04	4,25E-04
22500	127,38	0,206	0,128	4,50E-04	4,85E-04	4,68E-04
25000	141,53	0,216	0,139	5,00E-04	5,40E-04	5,20E-04

Tabla # IV.44 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS4 ($f'c=250\text{Kg/cm}^2$).

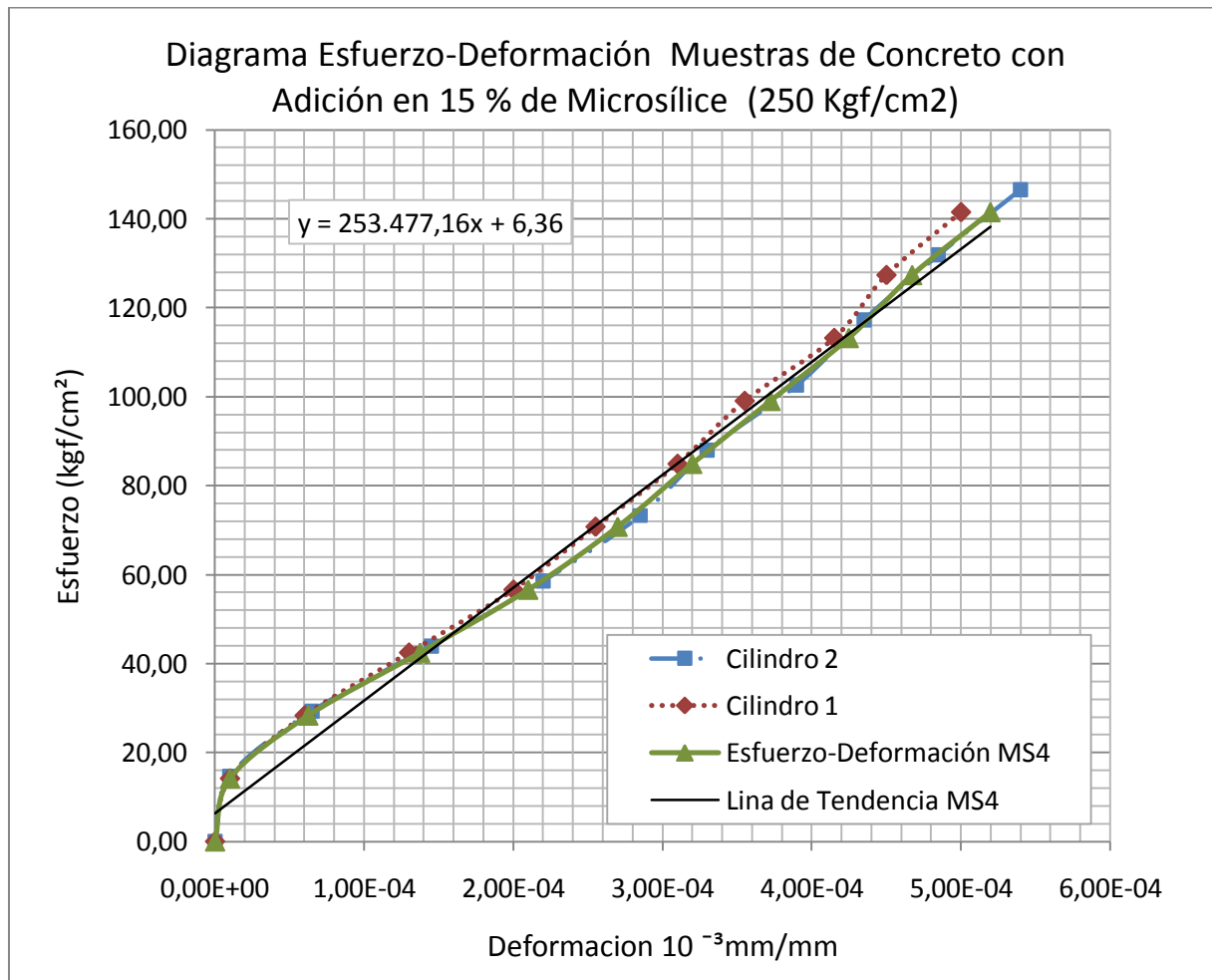


Gráfico # IV.8 Resultados del ensayo de Módulo de elasticidad secante de la MS4 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).

σ Promedio (Kg/cm ²)	361
γ Promedio (Kg/m ³)	242×10^1
Ec. TEORICO (Kgf/cm²)	309×10^3
E_{SECANTE} (Kgf/cm²)	261×10^3

Tabla # IV.45 Módulos de elasticidad teórico y Módulo de elasticidad secante hallado experimentalmente para la MS4 ($f'c=250\text{Kgf/cm}^2$).

IV.7 Resistencia a la Compresión

Se presentan a continuación los resultados del ensayo de resistencia a compresión de las distintas mezclas realizadas, mezclas patrones y mezclas con contenido de microsílice, para las distintas edades. Las tablas presentadas están hechas para las distintas edades de cada tipo de mezcla. Este ensayo se realizó según el procedimiento que se indica en la Norma COVENIN 338-2002. También se presentan las gráficas que representan el aumento de resistencia a la compresión a medida que aumenta la edad de la probeta.

IV.7.1 Resultados para la MP 1, $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$

Edad de Ensayo: **7 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kg/cm ²)	% Resistencia
1	12,913	14,92	30,25	22.100	127	67,54
		14,85	30,31			
		14,81	30,24			
2	12,914	14,82	30,81	23.000	133	70,64
		14,80	30,60			
		14,85	30,19			
			PROMEDIO	22.550	130	69,09

Tabla # IV.46 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP1 ($f'c=180\text{Kg/cm}^2$) a los 7 días.

Edad de Ensayo: **14 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	13,058	14,87	29,87	25.400	146	77,17
		14,88	29,88			
		14,96	29,93			
2	12,831	14,97	30,18	24.600	140	74,15
		15,07	30,25			
		14,85	30,31			
			PROMEDIO	25.000	143	75,66

Tabla # IV.47 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) a los 14 días.

Edad de Ensayo: **21 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,918	14,98	30,12	27.200	154	81,36
		15,05	30,18			
		15,03	30,09			
2	12,925	15,09	29,98	29.600	166	88,19
		15,08	29,95			
		14,98	30,02			
			PROMEDIO	28.400	160	84,78

Tabla # IV.48 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) a los 21 días.

Edad de Ensayo: **28 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,812	14,96	30,03	34.800	198	104,84
		15,01	29,95			
		14,93	28,89			
2	12,998	15,02	30,17	32.400	183	97,18
		15,03	30,10			
		14,95	30,20			
3	13,193	15,09	30,30	33.600	188	99,67
		15,08	30,32			
		15,08	30,12			
4	12,832	15,03	30,02	31.200	177	93,58
		15,00	30,04			
		14,97	30,13			
5	13,186	15,04	30,32	35.000	197	104,51
		15,06	30,30			
		15,00	30,26			
6	12,943	15,05	30,22	33.400	189	100,22
		14,93	30,10			
		15,01	30,12			
			PROMEDIO	33.400	189	104,44

Tabla # IV.49 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP1 ($f'_c=180\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.

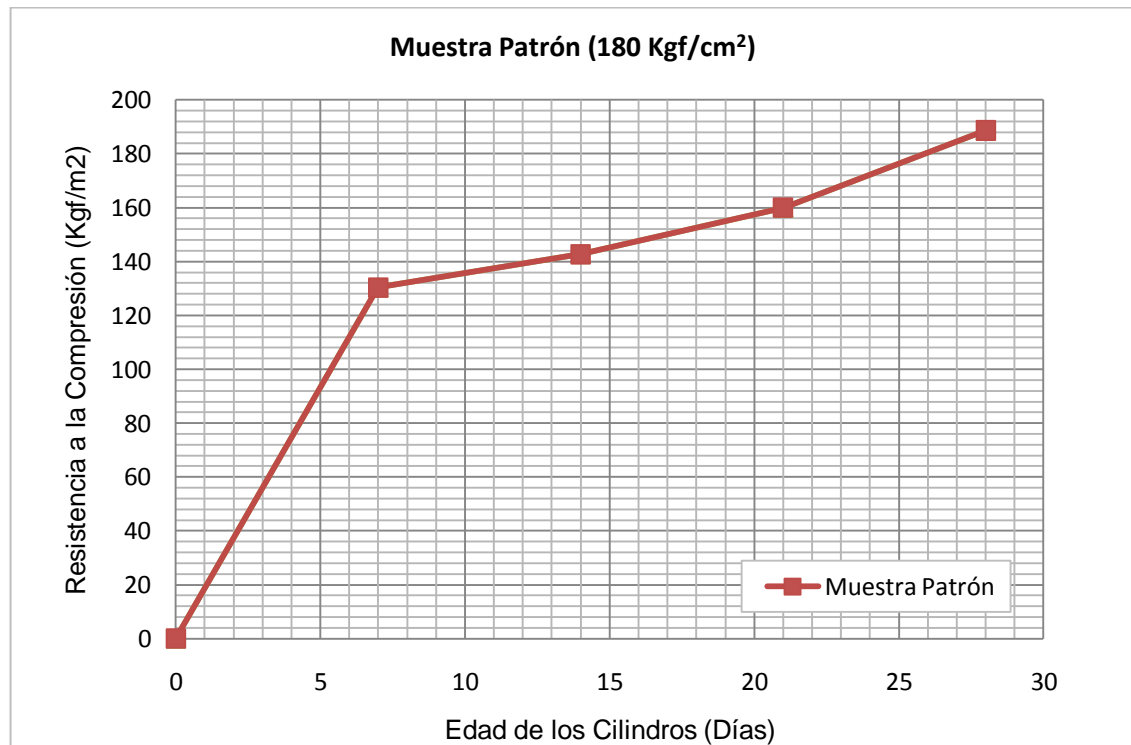


Gráfico # IV.9 Comportamiento de la MP1 ($f'c = 180 \text{Kgf/cm}^2$).

IV.7.2 Resultados para la MS1, $f'c = 180 \text{Kgf/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílice.

Edad de Ensayo: **7 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	13,026	15,02	30,21	27.600	156	67,79
		14,96	30,14			
		14,99	30,19			
2	12,691	15,03	30,14	28.500	161	69,91
		15,01	30,08			
		14,96	30,16			
			PROMEDIO	28.050	159	68,85

Tabla # IV.50 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS1 ($f'c=180 \text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 7 días.

Edad de Ensayo: **14 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,846	14,89	30,12	30.600	175	75,84
		14,95	30,15			
		14,93	30,08			
2	12,675	14,96	30,13	31.800	181	78,64
		14,91	30,17			
		14,95	30,10			
			PROMEDIO	31.200	178	77,24

Tabla # IV.51 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución los 14 días.

Edad de Ensayo: **21 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,386	15,09	30,17	34.400	194	83,94
		15,05	30,22			
		14,98	30,17			
2	12,512	14,94	30,25	33.200	188	81,30
		15,01	30,34			
		15,09	30,29			
			PROMEDIO	33.800	191	82,62

Tabla # IV.52 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 21 días.

Edad de Ensayo: **28 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,303	15,04	30,25	40.800	230	99,82
		15,02	30,19			
		15,00	30,15			
2	12,386	14,99	30,61	41.400	235	101,74
		15,06	30,38			
		14,91	30,32			
3	12,349	15,07	30,19	40.800	231	99,95
		15,03	30,25			
		14,93	30,32			
4	12,299	14,99	30,42	40.400	230	99,63
		14,87	30,11			
		15,02	30,23			
5	12,350	15,00	30,18	39.400	221	95,92
		15,15	30,12			
		15,02	30,11			
6	12,382	14,91	30,59	41.200	237	102,93
		14,89	30,38			
		14,79	30,32			
			PROMEDIO	40.667	231	100,00

Tabla # IV.53 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS1 ($f'c=180\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 28 días.

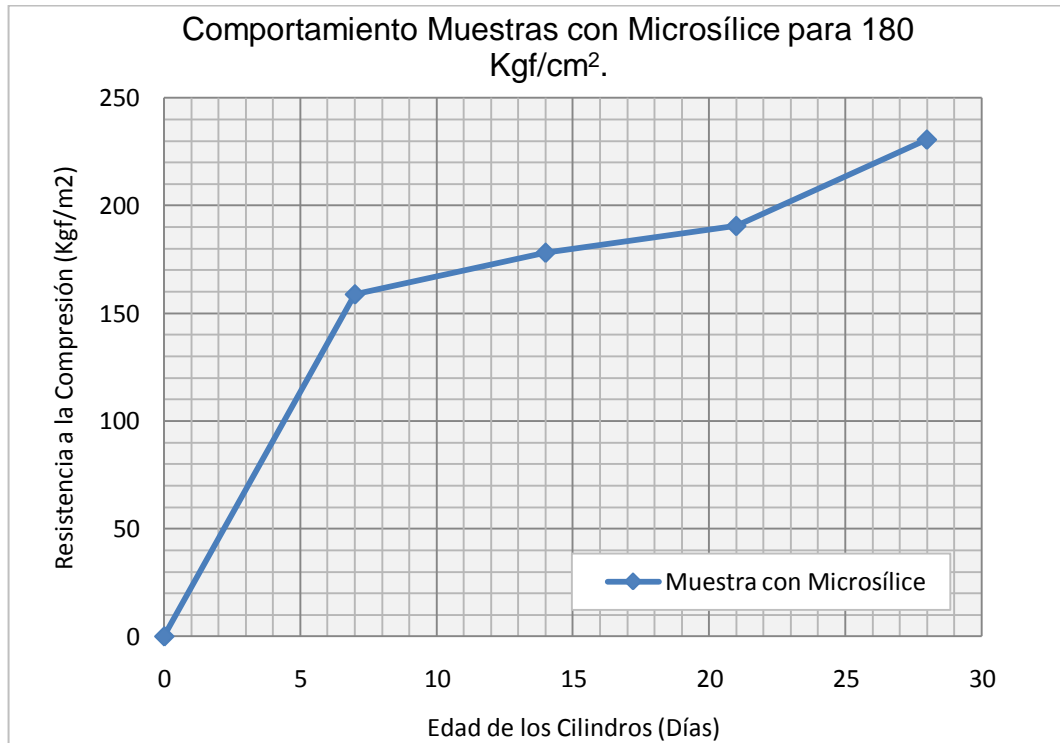


Gráfico # IV.10 Comportamiento de MS1 con 10% de sustitución.

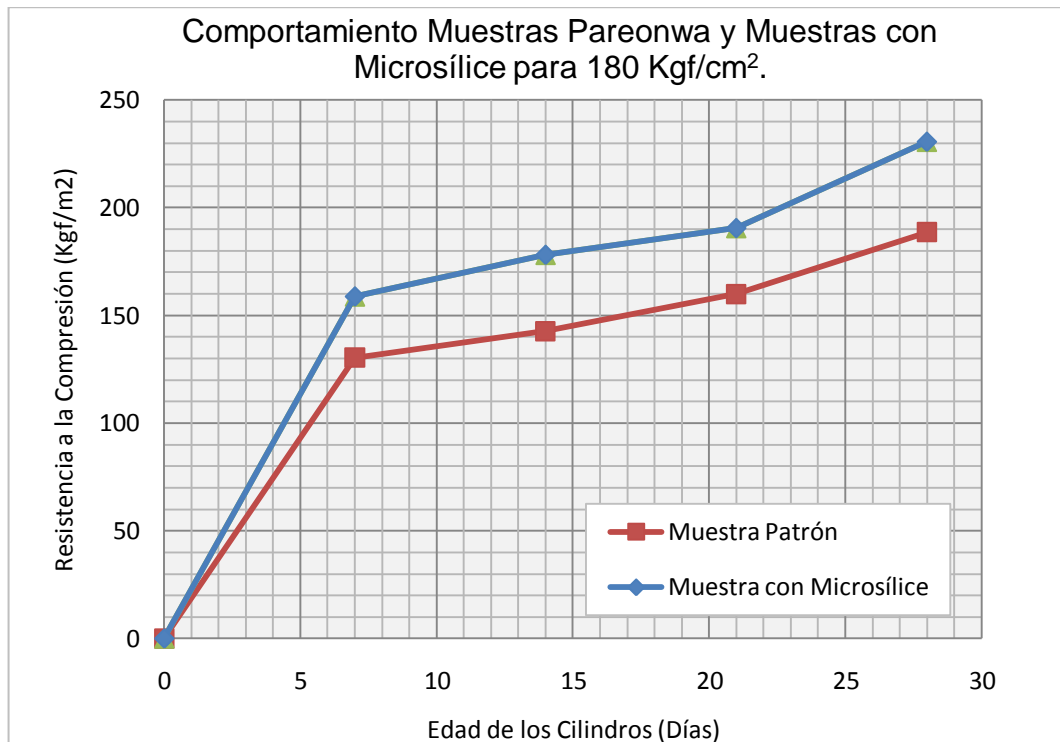


Gráfico # IV.11 Comparación entre Muestras Patrones y Muestras con contenido de Microsílice (Para 180 kg/cm²).

IV.7.3 Resultados para la MP2, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ Edad de Ensayo: **7 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,356	14,85	30,02	29.800	172	74,70
		14,88				
		14,78				
2	12,516	15,08	29,90	32.400	183	79,14
		15,06				
		14,95				
			PROMEDIO	31.100	178	76,92

Tabla # IV.54 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MP2 ($f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$) a los 7 días.

Edad de Ensayo: **14 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,407	14,93	30,13	33.400	191	82,91
		14,88				
		14,92				
2	12,448	14,84	30,47	35.400	203	87,95
		14,94				
		14,93				
			PROMEDIO	34.400	197	85,43

Tabla # IV.55 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MP2 ($f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$) a los 14 días.

Edad de Ensayo: **21 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,598	15,14	30,36	38.600	219	87,6
		14,95				
		14,90				
2	12,397	14,97	30,05	38.800	220	88,0
		14,96				
		14,99				
			PROMEDIO	38.700	220	88,0

Tabla # IV.56 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MP2 ($f'c=250$ Kgf/cm²) a los 21 días.

Edad de Ensayo: **28 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,451	14,63	30,57	40.400	235	94,0
		14,82				
		14,91				
2	12,454	14,92	30,28	37.600	216	86,4
		14,91				
		14,89				
3	12,205	14,81	30,11	41.000	236	94,4
		14,93				
		14,88				
4	12,349	14,79	29,74	40.200	230	92,0
		14,93				
		15,08				
5	12,261	14,75	29,86	40.800	238	95,2
		14,71				
		14,91				
6	12,232	14,85	30,12	40.600	233	93,2
		14,89				
		14,93				
			PROMEDIO	40.100	231	92,4

Tabla # IV.57 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MP2 ($f'c=250$ Kgf/cm²) a los 28 días.

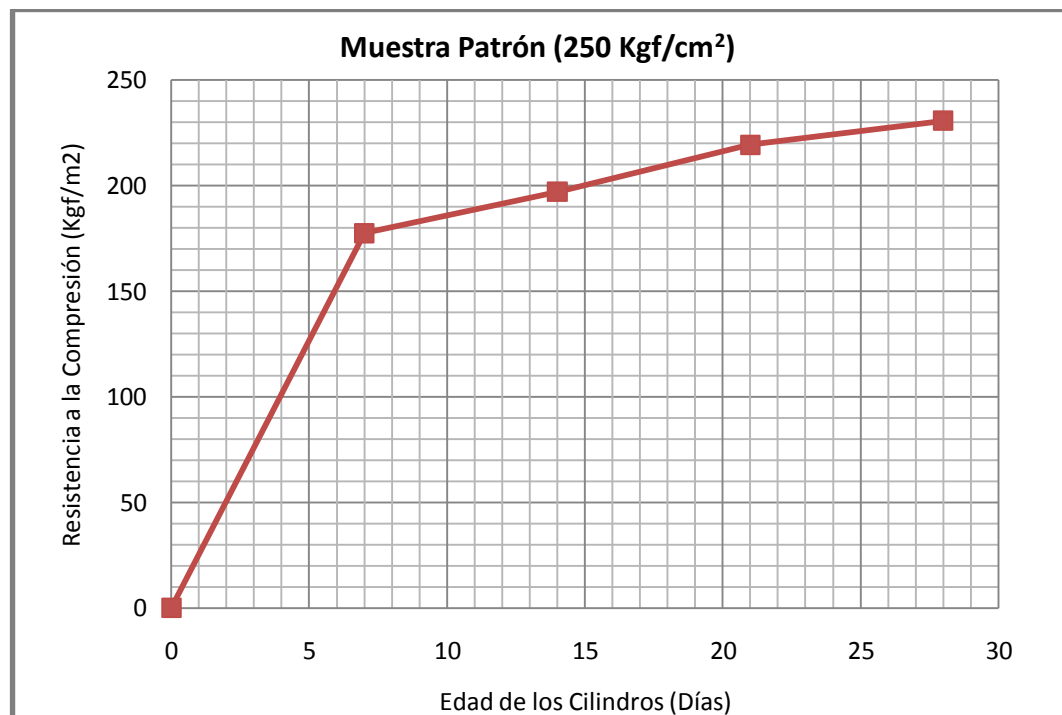


Gráfico # IV.12 Comportamiento de MP2 ($f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$).

IV.7.4 Resultados para la MS2, $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílice.

Edad de Ensayo: **7 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,269	14,90	30,19	42.000	242	85,23
		14,79	30,15			
		14,92	30,21			
2	12,288	15,01	30,16	38.200	216	76,11
		14,98	30,04			
		15,03	30,17			
			PROMEDIO	40.100	229	80,67

Tabla # IV.58 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS2 ($f'c=250 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 7 días.

Edad de Ensayo: **14 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,305	14,96	30,04	43.000	245	86,21
		15,04	30,17			
		14,88	30,10			
2	12,334	15,00	30,41	42.800	242	85,39
		15,01	30,51			
		14,98	30,23			
			PROMEDIO	42.900	244	85,80

Tabla # IV.59 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS2 ($f'c=250$ Kgf/cm²) con 10% de sustitución a los 14 días.

Edad de Ensayo: **21 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,386	15,09	30,17	45.500	256	90,25
		15,05	30,22			
		14,98	30,17			
2	12,512	14,94	30,25	47.300	267	94,16
		15,01	30,34			
		15,09	30,29			
			PROMEDIO	46.400	262	92,21

Tabla # IV.60 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS2 ($f'c=250$ Kgf/cm²) con 10% de sustitución a los 21 días.

Edad de Ensayo: **28 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,303	15,04	30,25	52.000	294	103,42
		15,02	30,19			
		15,00	30,15			
2	12,386	14,99	30,61	51.600	293	103,08
		15,06	30,38			
		14,91	30,32			
3	12,349	15,07	30,19	49.000	277	97,59
		15,03	30,25			
		14,93	30,32			
4	12,299	14,99	30,42	50.000	285	100,24
		14,87	30,11			
		15,02	30,23			
5	12,350	15,00	30,18	49.600	279	98,17
		15,15	30,12			
		15,02	30,11			
6	12,382	14,91	30,59	48.000	277	97,49
		14,89	30,38			
		14,79	30,32			
				50.033	284	100,00

Tabla # IV.61 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS2 ($f'c=250$ Kgf/cm²) con 10% de sustitución a los 28 días.

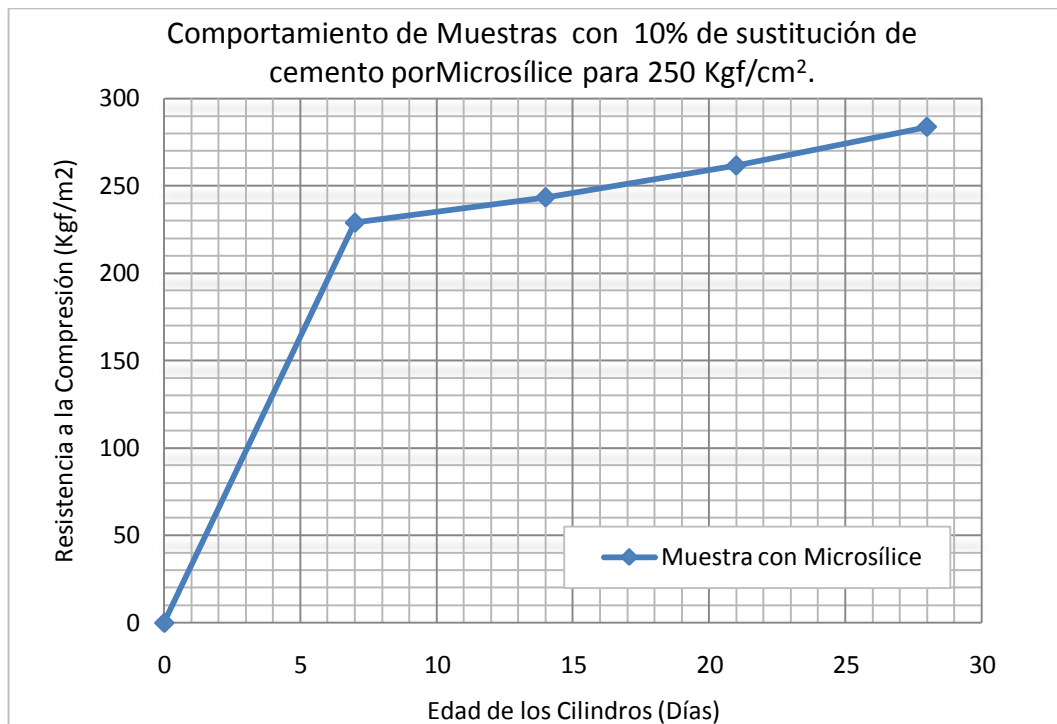


Gráfico # IV.13 Comportamiento de MS2 ($f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$) con 10% de sustitución de cemento por microsílice.

IV.7.5 Resultados para la MS3, $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 10% de peso de cemento por microsílice.

Edad de Ensayo: 7 días.

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kg/cm ²)	% $\sigma_{28 \text{ días}}$
1	12,126	14,88	30,14	44.400	256	76,74
		14,91	30,16			
		14,79	30,18			
2	12,325	14,96	30,14	46.200	262	78,47
		15,03	30,15			
		14,98	30,02			
			PROMEDIO	45.300	259	77,60

Tabla # IV.62 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS3 ($f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$) con 10% de adición a los 7 días.

Edad de Ensayo: **14 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,589	14,93	30,08	50.000	285	85,30
		14,91	30,13			
		15,03	30,02			
2	12,376	15,03	30,20	48.400	274	82,10
		14,96	30,41			
		15,01	30,03			
			PROMEDIO	49.200	279	83,70

Tabla # IV.63 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS3 ($f'c=250$ Kgf/cm²) con 10% de adición a los 14 días.

Edad de Ensayo: **21 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,871	14,79	30,28	53.200	304	91,13
		15,01	30,31			
		14,98	31,37			
2	12,707	14,87	30,05	55.400	319	95,71
		14,89	30,02			
		14,83	30,00			
			PROMEDIO	54.300	312	93,42

Tabla # IV.64 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS3 ($f'c=250$ Kgf/cm²) con 10% de adición a los 21 días.

Edad de Ensayo: **28 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	13,008	15,01	30,93	58.000	329	98,64
		14,98	30,63			
		14,95	30,74			
2	12,800	15,01	30,22	56.400	320	95,84
		15,00	30,25			
		14,95	30,31			
3	12,840	15,01	30,34	58.200	331	99,07
		14,98	30,42			
		14,93	30,28			
4	12,709	14,73	30,38	60.400	352	105,43
		14,75	30,42			
		14,88	30,23			
5	12,739	14,76	30,38	59.200	344	103,24
		14,78	30,42			
		14,84	30,37			
6	12,456	14,98	30,51	56.800	326	97,77
		14,88	30,16			
		14,81	30,22			
			PROMEDIO	58.167	334	100,00

Tabla # IV.65 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS3 ($f'c=250$ Kgf/cm²) con 10% de adición a los 28 días.

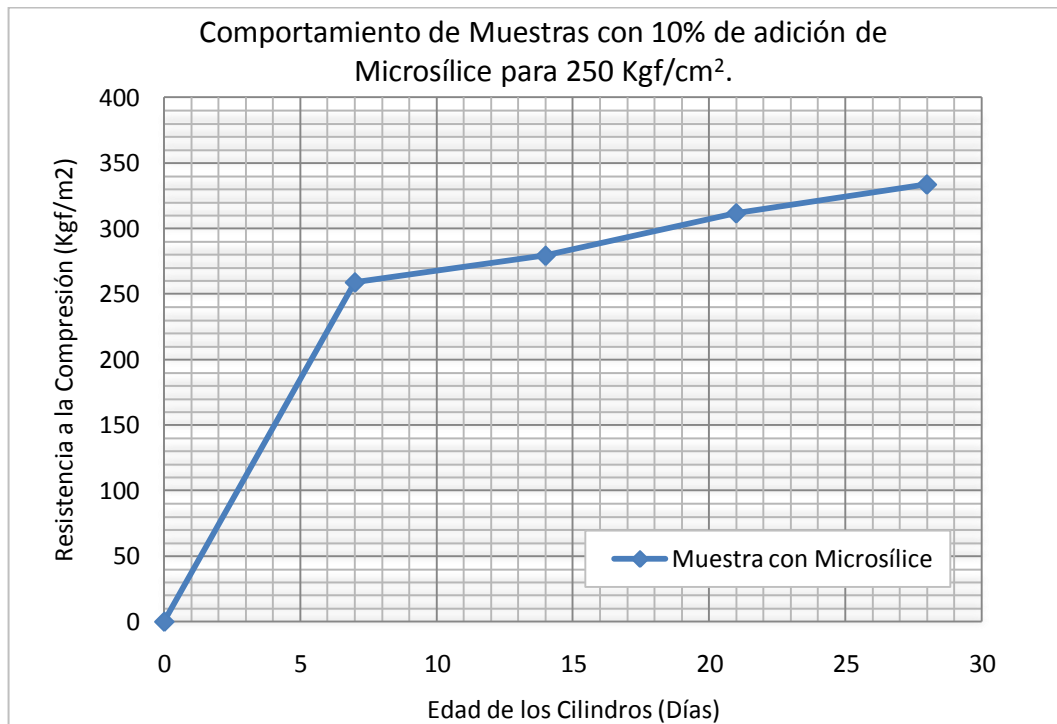


Gráfico # IV.14 Comportamiento de MS3 ($f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de adición de peso de cemento por microsílice.

IV.7.6 Resultados para la MS4, $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 15% de peso de cemento por microsílice.

Edad de Ensayo: **7 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,876	14,89	30,14	50.200	291	80,72
		14,61	30,01			
		14,94	30,12			
2	12,365	15,04	30,08	48.400	274	75,87
		15,01	30,04			
		14,96	30,17			
			PROMEDIO	49.300	283	78,30

Tabla # IV.66 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS4 ($f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$) con 15% de adición a los 7 días.

Edad de Ensayo: **14 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,987	14,87	30,09	55.400	316	87,50
		14,96	30,14			
		15,01	30,17			
2	13,125	14,98	30,09	53.800	307	84,98
		14,90	30,11			
		14,96	30,14			
			PROMEDIO	54.600	311	86,24

Tabla # IV.67 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS4 ($f'c=250$ Kgf/cm²) con 15% de adición a los 14 días.

Edad de Ensayo: **21 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,660	15,14	30,16	58.800	333	92,26
		14,91	30,21			
		14,94	30,14			
2	12,797	14,83	30,12	62.200	356	98,73
		14,82	30,20			
		15,08	30,13			
			PROMEDIO	60.500	345	95,49

Tabla # IV.68 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS4 ($f'c=250$ Kgf/cm²) con 15% de adición a los 21 días.

Edad de Ensayo: **28 días.**

Probeta	Peso (Kg)	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Carga (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	% Resistencia
1	12,598	14,98	30,30	64.600	366	101,54
		14,87	30,39			
		15,10	30,28			
2	12,523	15,05	30,05	64.000	362	100,41
		14,98	30,12			
		14,96	30,28			
3	12,703	14,16	30,18	60.800	357	98,79
		15,04	30,23			
		15,01	30,34			
4	12,641	15,03	30,28	62.800	355	98,49
		15,01	29,94			
		14,96	29,53			
5	12,585	14,98	30,54	63.800	363	100,64
		14,88	30,28			
		15,01	30,37			
6	12,725	14,88	30,22	63.200	361	100,14
		14,95	30,14			
		14,94	30,19			
			PROMEDIO	63.200	361	100,00

Tabla # IV.69 Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MS4 ($f'c=250$ Kgf/cm²) con 15% de adición a los 28 días.

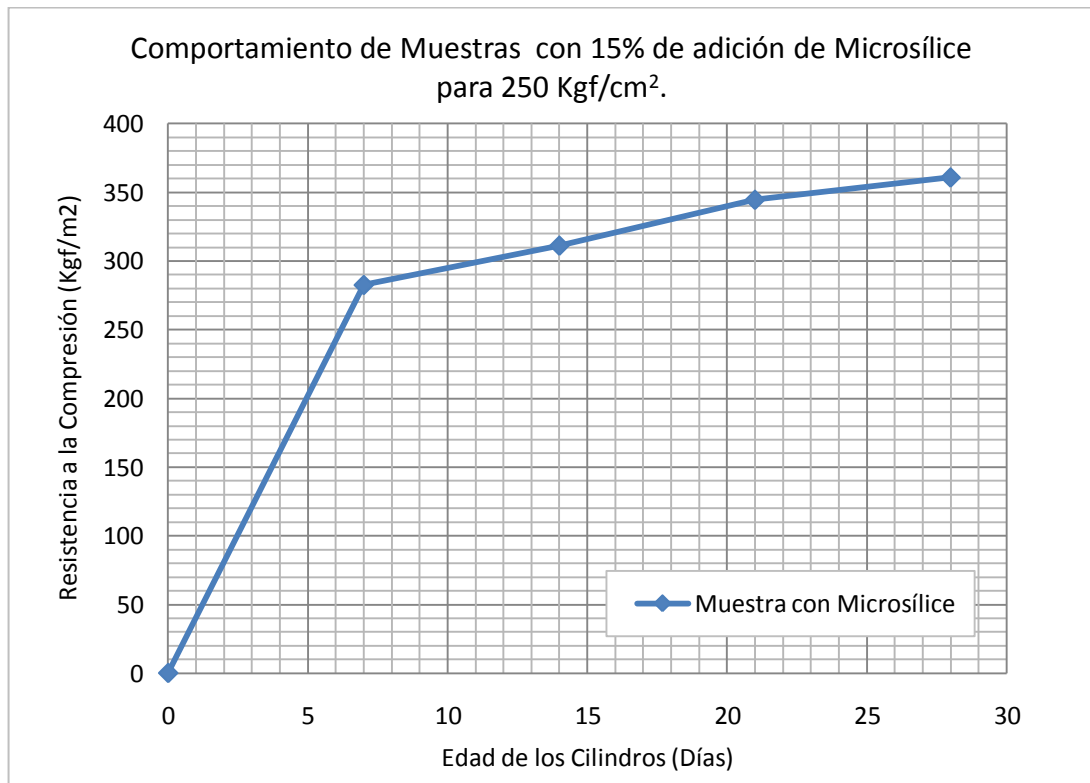


Gráfico # IV.15 Comportamiento de MS4 ($f'_c = 250 \text{ Kg/cm}^2$) con 15% de adición de peso de cemento por microsílice.

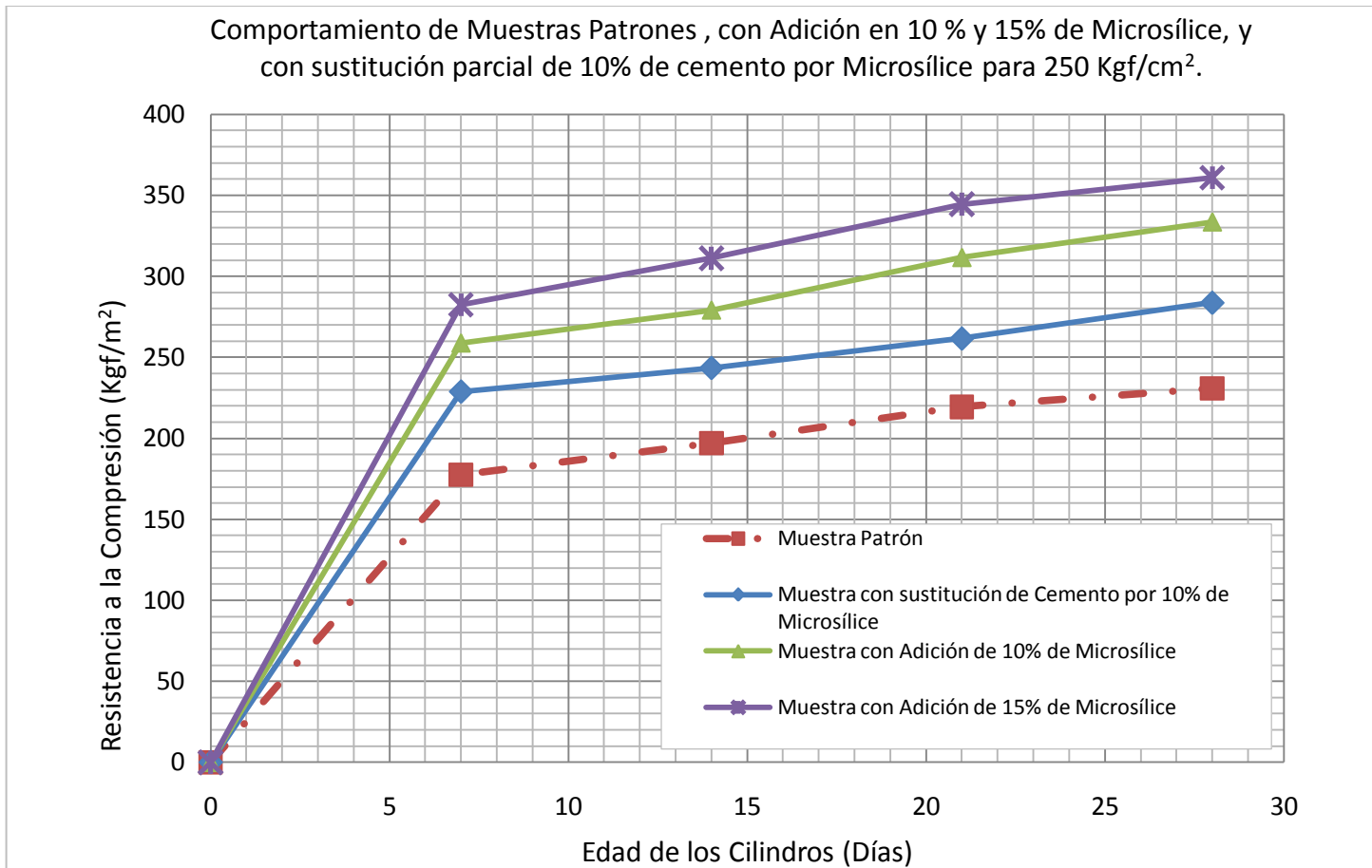


Gráfico # IV.16 Comparación entre Muestras Patrones y Muestras con contenido de Microsílice (Para 250 kg/cm²).

IV.8 Análisis económico.

En las tablas que se presentan a continuación se expresan los costos de la producción de concretos con contenido de microsílice y concretos sin contenido de microsílice. También se presentan unos gráficos con los cuales es posible comparar el costo de elaboración de una mezcla de concreto, de una misma resistencia, que contenga microsílice con una que no contenga este material.

IV.8.1 Costos de las muestra patrón 1 (MP1) , $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$

El resultado de resistencia a compresión a los 28 días para este tipo de muestras fue en promedio, como se muestra en la tabla # IV.70, de $f'c = 188,67 \text{ Kg/cm}^2$.

Material	Unidad	P.U. (Bs.)	Cantidad (kg)	Cantidad	Total (Bs/m³)
Cemento	sacos	20	288	6,78	135,53
Arena Natural	m3	250	1113	0,42	105,72
Piedra Semitriturada	m3	220	726	0,30	64,90
Agua	m3	0,514	184	0,18	0,09
Microsílice	sacos	105	0	0,00	0,00
				Total	306,24

Tabla # IV.70 Costos de elaboración de mezclas de concreto sin contenido de microsílice obteniendo una resistencia a la compresión de 189 Kg/cm^2 a los 28 días.

IV.8.2 Costos de las muestra con contenido de microsíllice 1 (MS1), $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de parte del cemento por Microsílice.

El resultado de resistencia a compresión a los 28 días para este tipo de muestras fue en promedio, como se muestra en la tabla # IV.71, de $f'c=231 \text{ Kg/cm}^2$.

<i>Material</i>	<i>Unidad</i>	<i>P.U. (Bs.)</i>	<i>Cantidad (kg)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Total (Bs/m³)</i>
Cemento	sacos	20	259,2	6,10	121,98
Arena Natural	m3	250	1113	0,42	105,72
Piedra Semitriturada	m3	220	726	0,30	64,90
Agua	m3	0,514	184	0,18	0,09
Microsílice	sacos	105	28,8	2,88	302,40
				Total	595,09

Tabla # IV.71 Costos de elaboración de mezclas de concreto con 10% de sustitución de cemento por microsíllice obteniendo una resistencia a la compresión de 231 Kg/cm² a los 28 días.

IV.8.3 Costos de las muestra patrón 2 (MP2) , $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$

El resultado de resistencia a compresión a los 28 días para este tipo de muestras fue en promedio, como se muestra en la tabla # IV.72, de $f'c= 231 \text{ Kg/cm}^2$.

<i>Material</i>	<i>Unidad</i>	<i>P.U. (Bs.)</i>	<i>Cantidad (kg)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Total (Bs/m³)</i>
Cemento	sacos	20	321	7,55	151,06
Arena Natural	m3	250	835	0,32	79,31
Piedra Semitriturada	m3	220	981	0,40	87,70
Agua	m3	0,514	169	0,17	0,09
Microsílice	sacos	105	0	0,00	0,00
				Total	318,15

Tabla # IV.72 Costos de elaboración de mezclas de concreto sin contenido de microsílice obteniendo una resistencia a la compresión de 231 Kgf/cm² a los 28 días.

IV.8.4 Costos de las muestra con contenido de microsílice 2 (MS2), $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$ con sustitución de 10% de parte del cemento por microsílice.

El resultado de resistencia a compresión a los 28 días para este tipo de muestras fue en promedio, como se muestra en la tabla # IV.73, de $f'c = 284 \text{ Kgf/cm}^2$.

<i>Material</i>	<i>Unidad</i>	<i>P.U. (Bs.)</i>	<i>Cantidad (kg)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Total (Bs/m³)</i>
Cemento	sacos	20	288,9	6,80	135,95
Arena Natural	m3	250	835	0,32	79,31
Piedra Semitriturada	m3	220	981	0,40	87,70
Agua	m3	0,514	169	0,17	0,09
Microsílice	sacos	105	33,1	3,31	347,55
				Total	650,60

Tabla # IV.73 Costos de elaboración de mezclas de concreto con 10% de sustitución de cemento por microsílice obteniendo una resistencia a la compresión de 284 Kgf/cm² a los 28 días.

IV.8.5 Costos de las muestra con contenido de microsíllice 3 (MS3),
 $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 10% de microsíllice.

El resultado de resistencia a compresión a los 28 días para este tipo de muestras fue en promedio, como se muestra en la tabla # IV.74, de $f'c = 334 \text{ Kgf/cm}^2$.

<i>Material</i>	<i>Unidad</i>	<i>P.U. (Bs.)</i>	<i>Cantidad (kg)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Total (Bs/m³)</i>
Cemento	sacos	20	321	7,55	151,06
Arena Natural	m3	250	835	0,32	79,31
Piedra Semitriturada	m3	220	981	0,40	87,70
Agua	m3	0,514	169	0,17	0,09
Microsílice	sacos	105	32,1	3,21	337,05
				Total	655,20

Tabla # IV.74 Costos de elaboración de mezclas de concreto con 10% de adición de microsíllice de microsíllice obteniendo una resistencia a la compresión de 334 Kgf/cm^2 a los 28 días.

IV.8.6 Costos de las muestra con contenido de microsíllice 3 (MS3),
 $f'c = 250 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 15% de microsíllice.

El resultado de resistencia a compresión a los 28 días para este tipo de muestras fue en promedio, como se muestra en la tabla # IV.75, de $f'c = 361 \text{ Kgf/cm}^2$.

Material	Unidad	P.U.	Cant (kg)	Cantidad	Total
Cemento	sacos	20	321	7,55	151,06
Arena Natural	m3	250	835	0,32	79,31
Piedra Semitriturada	m3	220	981	0,40	87,70
Agua	m3	0,514	169	0,17	0,09
Microsílice	sacos	105	48,15	4,82	505,58
				Total	823,73

Tabla # IV.75 Costos de elaboración de mezclas de concreto con 10% de adición de microsílice de microsílice obteniendo una resistencia a la compresión de 361 Kgf/cm² a los 28 días.

IV.8.7 Comparación de costos de producción de concretos con contenido de microsílice y concretos sin el contenido del mismo.

Con los valores de resistencia a la compresión obtenidos y los costos de producción de cada tipo de mezcla, se pudieron realizar los gráficos comparativos de los costos de producción entre los concretos con contenido de microsílice y los que no contienen el mismo. Se hicieron proyecciones de los valores de resistencia a compresión de las distintas mezclas y costos para la realización de este gráfico.

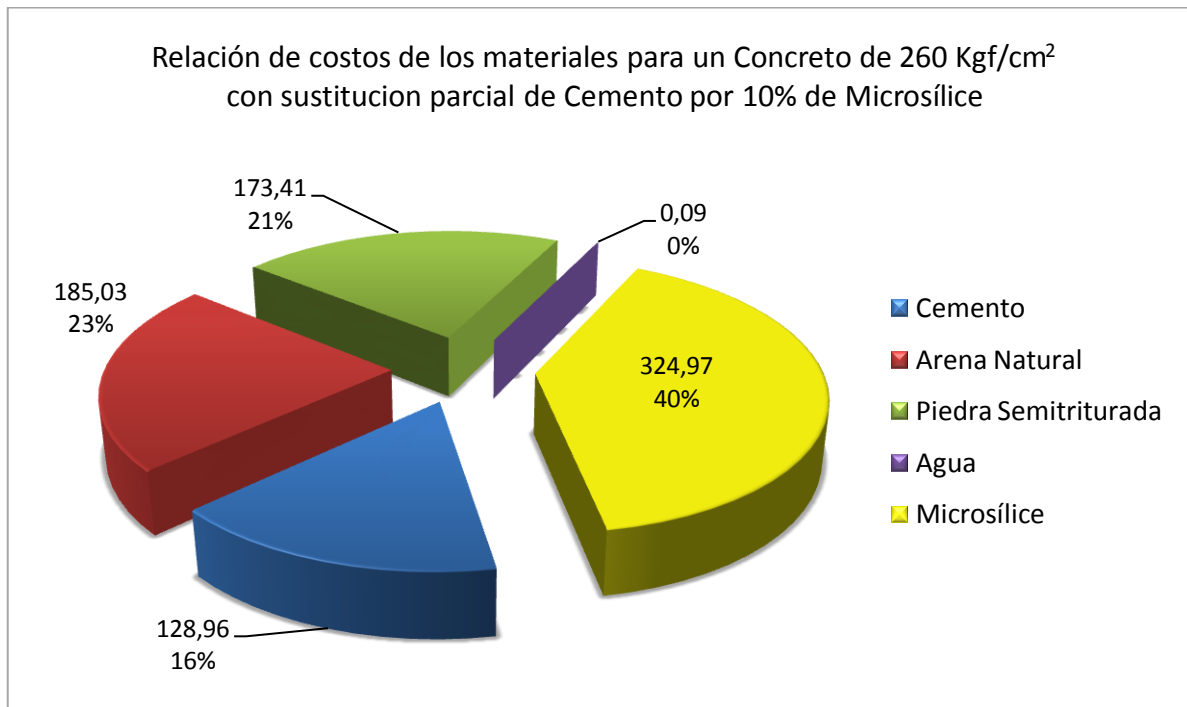


Gráfico # IV.17 Distribución de costos en una mezcla con contenido de microsílice.

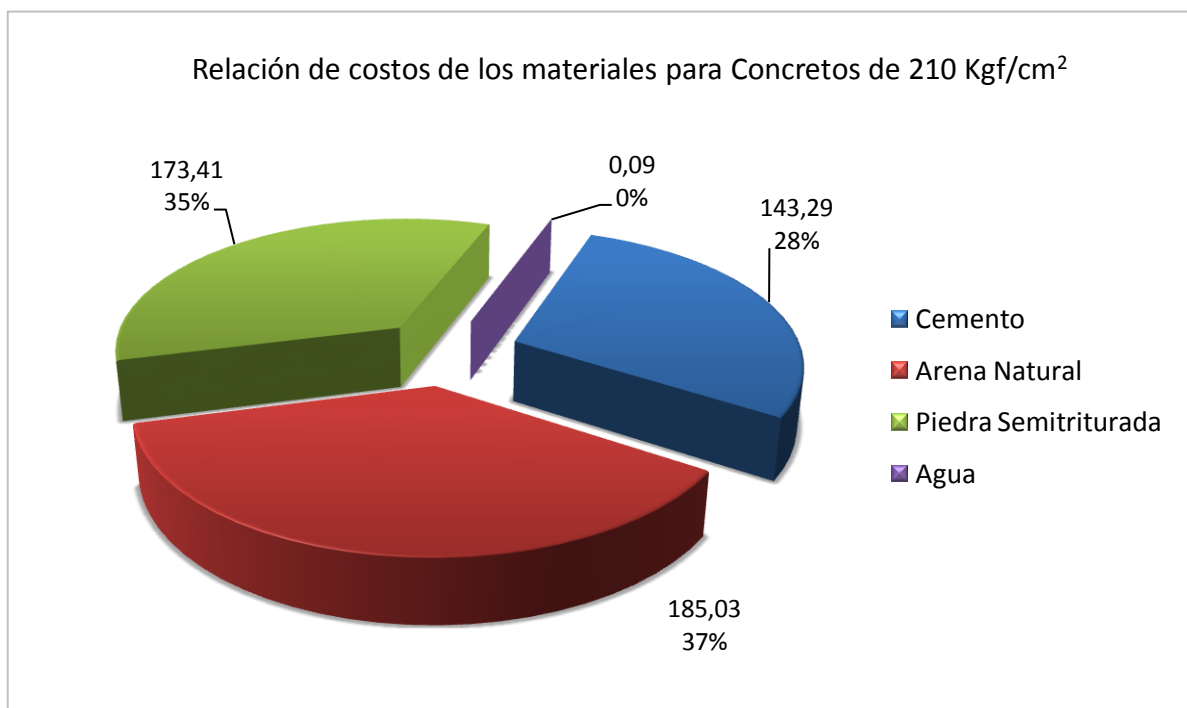


Gráfico # IV.18 Distribución de costos en una mezcla sin microsílice

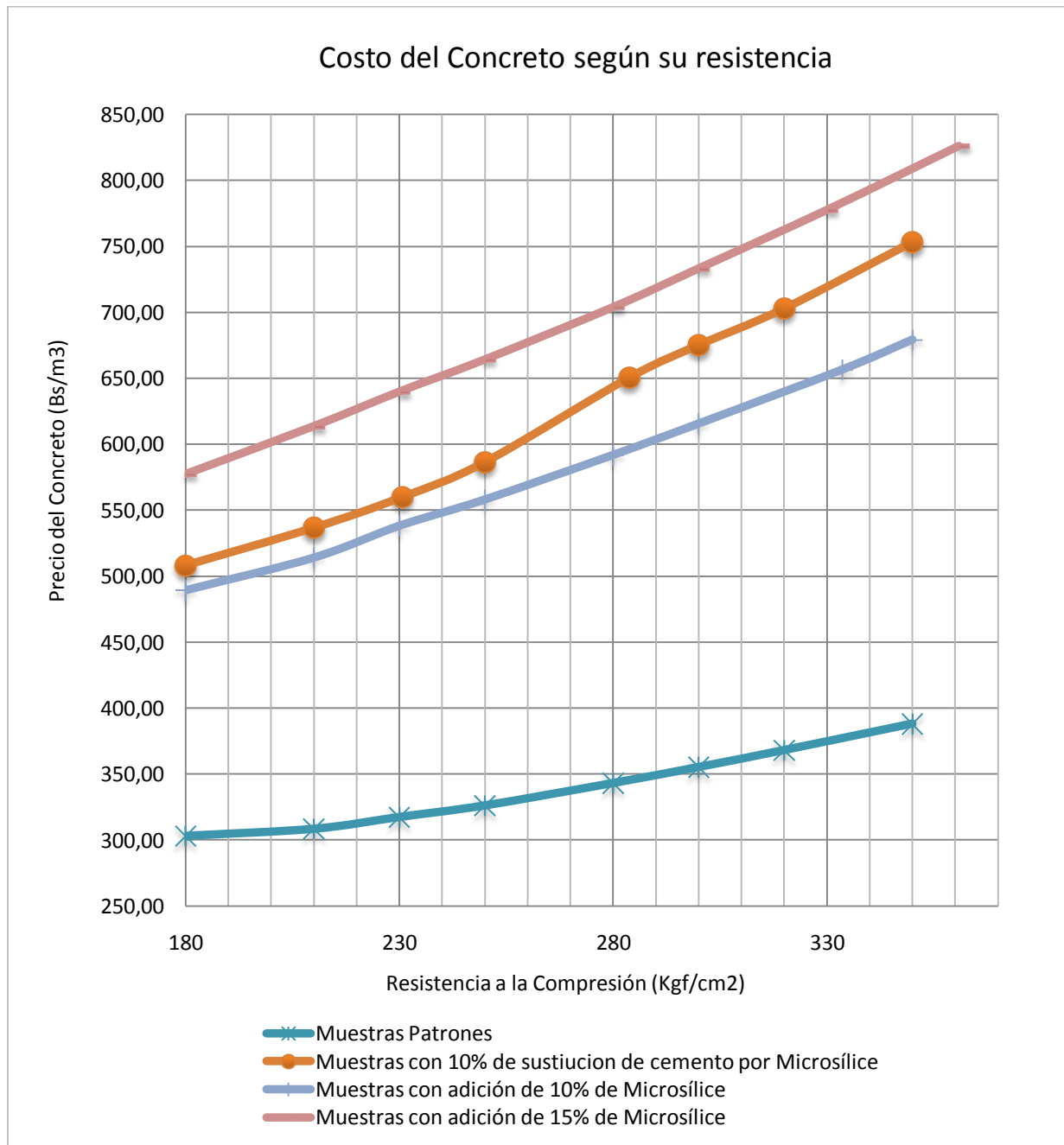


Gráfico # IV.19 Costos de las mezclas de concreto sin microsílice y con contenido de microsílice según su resistencia a los 28 días.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1. Análisis de los agregados

V.1.1. Granulometría del agregado grueso

La muestra de agregado grueso utilizada no cumple con todos los límites granulométricos presentados en la Norma COVENIN 277-2000 para la piedra picada N°1. Esto se debe a que existe un mayor porcentaje de pasantes por los tamices de $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " y $\frac{1}{4}$ ", lo que evidencia la existencia de una mayor cantidad de finos de los permitidos por la norma. Debido a que el valor de material pasante por los tamices anteriormente mencionados no se aleja mucho del límite establecido en la norma, este material puede ser utilizado para la preparación de mezclas de concreto en el presente trabajo.

V.1.2. Granulometría del agregado fino

En los resultados del ensayo de granulometría del agregado fino se observa que la muestra no cumple con algunos criterios que se establecen en la Norma COVENIN 277-2000, ya que en dicha norma se establece que el agregado fino no debe tener más de 25% retenido entre dos tamices consecutivos. Además de esto la muestra presenta un déficit de material pasante por los tamices # 4, # 8 y # 16, por lo que la muestra tiene una mayor cantidad de gruesos que la que establece la norma.

El modulo de finura obtenido, mayor a 3, indica que se trata de una arena gruesa, la cual no se considera adecuada para la producción de concreto normalizado. Sin embargo, debido a que los valores de porcentaje de pasantes no exceden en gran medida a los que limita la norma, se decidió utilizar este material para la elaboración de las mezclas de concreto del presente trabajo especial de grado.

V.2. Densidad, absorción y contenido de humedad

V.2.1 Agregado grueso

Los valores de densidad obtenidos para el agregado grueso se corresponden con los valores usuales que tiene este tipo de agregado, por lo tanto puede ser utilizado para la elaboración de concreto normalizado.

El bajo valor obtenido de contenido de humedad y porcentaje de absorción es común en el agregado grueso, debido a esto no genera grandes modificaciones al agua de diseño de la mezcla de concreto, ya que no influye en gran medida en ella.

V.2.1 Agregado fino

Los valores de densidad obtenidos para el agregado fino, también se corresponden con los valores usuales que tiene este tipo de agregado, por lo tanto puede ser utilizado para la elaboración de concreto normalizado.

En este caso los resultados del ensayo de porcentaje de humedad y absorción arrojaron valores moderadamente altos, por lo que tuvieron que ser tomados en cuenta para la corrección del agua de diseño de la mezcla.

V.3. Cono de Abrams

Los asentamientos obtenidos en el ensayo del cono de Abrams para las mezclas de concreto realizadas, dieron como resultado valores de asentamiento entre 3 cm y 6 cm, siendo en el caso de la muestra patrón MP1 un asentamiento igual a 3 cm, mientras que para la muestra con microsílice por sustitución de cemento MS1 fue de 5 cm, observando cómo aumenta la trabajabilidad de la mezcla, sin ser cambiada la relación agua-cemento.

En el caso de las mezclas MP2 y MS2, los resultados obtenidos en el ensayo del cono de Abrams son similares a los anteriores registrados para los concreto de 180 Kgf/cm², consiguiendo como valores de asentamientos de las mismas 3,5 cm y 4,5 cm respectivamente. En este caso se aumenta la cantidad de pasta en la mezcla pero existiendo un incremento proporcional de las cantidades de agua y cemento para el diseño del concreto, asimismo, manteniendo la relación agua-cemento.

Para las muestras con adición de microsílice MS3 y MS4 para 250 Kgf/cm², no se registraron valores mayores de asentamiento (4,5 cm y 4 cm respectivamente) respecto a la muestra patrón, ya que al tener adición de microsílice en el diseño de la mezcla sin aumentar el contenido de agua, se tiene una disminución en la relación agua-cemento y un crecimiento de la cantidad de pasta, lo cual crea una disminución en la fluidez.

V.4. Ensayo de Ultrasonido

Según se puede apreciar en las tablas # IV.20 y # IV.21 del capítulo IV, la velocidad promedio del ensayo de pulso ultrasónico de las muestras patrón 1 (MP1), que tienen una resistencia de diseño de 180 Kgf/cm², es muy similar a la velocidad promedio de las muestras con sustitución de microsílice 1 (MS1), que fueron diseñadas con la misma dosificación de una mezcla con resistencia esperada de 180 Kgf/cm² pero con sustitución de 10% del cemento por microsílice.

La similitud de estas velocidades refleja que las dos mezclas, tanto la mezcla patrón (MP1) como la de contenido de microsílice (MS1), son homogéneas y tienen densidades similares. Aún así los valores del ensayo de resistencia a compresión obtenidos para la muestra MS1 resultaron ser mayores a los de la muestra MP1, por lo que en este caso el aumento de resistencia no se produjo por ser una muestra más densa que la otra o por tener un diferente grado de compactación, sino más bien por la ocupación de los espacios vacíos dentro de la mezcla (MS1) por parte del microsílice.

En el caso de las muestras patrón 2 (MP2), que tienen una resistencia de diseño de 250 Kgf/cm², en comparación con las muestras con contenido de microsílice 2 (MS2), que tienen la misma dosificación de la muestra MP2 pero 10% de sustitución de cemento por microsílice, la velocidad del pulso ultrasónico también resultó ser similar, esto se puede observar en las tablas número IV.22 y IV.23 del capítulo IV. La variación de la velocidad entre estas dos mezclas es de 2.33%, por lo que se trata de mezclas con similar homogeneidad y densidad, y el aumento de resistencia se debe, igual que el caso anterior, a la ocupación de pequeños espacios vacíos dentro de la mezcla por parte del microsílice.

Las muestras MS3 y MS4, que se hicieron con la misma dosificación de la muestra (MP2) pero con la adición de 10% y 15% de microsílice respectivamente, presentan variaciones en la velocidad del pulso ultrasónico respecto la muestra patrón 2 (MP2) un poco mayores que en los casos anteriores (Ver tablas # IV.24 y # IV.25).

En este caso las velocidades disminuyeron en un 4,86% y 6,55 % respectivamente en comparación con la muestra patrón, sin embargo se observaron aumentos de resistencia de estas muestras. Esto demuestra una leve diferencia de densidad entre estas mezclas debido a la diferencia de trabajabilidad y al grado de compactación de las mismas, aún así estos factores no interfirieron sustancialmente en el efecto del microsílice dentro de la mezcla de concreto.

En la tabla # IV.26 del capítulo IV, se expresan en resumen todos los resultados del ensayo de pulso ultrasónico para cada una de las muestras y la relación de similitud entre las velocidades en las muestras con contenido de microsílice y las velocidades en las muestras patrones para cada tipo de resistencia.

V.5. Peso Unitario

Los resultados obtenidos como pesos unitarios para los casos de las mezclas con sustitución de cemento por microsílice en 10% (MS1 y MS2), se observó una disminución en sus pesos unitarios (2366,80 Kg/m³ y 2317,19 Kg/m³ respectivamente), en relación con las muestras patrones en un porcentaje menor al 5%, producto de la sustitución de cemento por microsílice ya que este último tiene un peso unitario menor.

Para el caso de las muestras con adición de microsílice en un 10% y 15% se observó un aumento en el valor del peso unitario de las mismas con respecto a la muestra patrón, ya que se agregó mayor cantidad de material a la mezcla (microsílice) y este ocupa los espacios vacíos en el concreto aumentando el valor de los pesos unitarios a 2373,77 Kg/m³ y 2416,20 Kg/m³ para las muestras MS3 y MS4.

V.6. Ensayo de Módulo de Elasticidad

El resultado obtenido de módulo de elasticidad teórico para la muestra patrón MP1 de 180 Kg/cm² fue de $2,27 \times 10^5$ Kg/cm², mientras que para la muestra de concreto con sustitución parcial de 10% de cemento por microsílice MS1 para 180 Kg/cm² fue de $2,39 \times 10^5$ Kg/cm² (ver tablas # IV.30 y # IV.33). Se observa como en el caso de la muestra MP1 el módulo de elasticidad teórico es menor que el obtenido para la muestra MS1, esto a pesar que se tiene un valor de peso unitario menor cercano al 5,4% (2443,74 Kg/cm³ para la muestra patrón y 2366.80 Kg/cm³ para MS1), lo cual tiene referencia al aumento de la resistencia promedio a los 28 días obtenida superior al 20%.

El promedio del módulo de elasticidad calculado para las dos probetas de la muestra patrón MP1 fue de $1,41 \times 10^5$ Kg/cm², mientras que para el promedio de las probetas en la muestra MS1 el módulo de elasticidad secante calculado fue de $1,89 \times 10^5$ Kg/cm² (ver tablas # IV.30 y # IV.33), observando que sigue siendo menor para el caso de la muestra patrón con respecto a la muestra de concreto con microsílice, aunque por otra parte, ambas mezclas de concreto presentan gran distancia con respecto de su valor de módulo de elasticidad teórico, siendo estos mayores con respecto al valor encontrado de forma experimental en un 60% y 79% respectivamente.

El promedio del módulo de elasticidad teórico para la muestra patrón de 250 Kgf/cm² fue de $2,38 \times 10^5$ Kgf/cm², mientras que los promedios de los módulos de elasticidad teóricos para las muestras de 250 Kgf/cm² MS2, MS3 y MS4 fueron de $2,57 \times 10^5$ Kgf/cm², $2,89 \times 10^5$ Kgf/cm² y $3,09 \times 10^5$ Kgf/cm² respectivamente. De esta manera, se observa como el módulo de elasticidad teórico para la muestra patrón MP2 es menor que el obtenido para la muestras que contienen microsílice, tanto por sustitución como por adición, esto, producto del aumento de la resistencia a compresión de las muestras pasando de los 230 Kgf/cm² a 280 Kgf/cm², 330 Kgf/cm², y 360 Kgf/cm², respectivamente (ver tablas # IV.36, # IV.39, # IV.42 y # IV.45), y no por la variación de sus pesos unitarios, ya que no existe una diferencia notable entre cada uno de los mismos.

El promedio del módulo de elasticidad calculado para las dos probetas de la muestras patrón MP2 fue de $2,58 \times 10^5$ Kgf/cm², mientras que los promedios de los módulos de elasticidad teóricos secantes para las muestras de 250 Kgf/cm² MS2, MS3 y MS4 fueron de $2,61 \times 10^5$ Kgf/cm², $2,64 \times 10^5$ Kgf/cm² y $2,60 \times 10^5$ Kgf/cm² respectivamente, aunque se observa, que a pesar de seguir siendo menor el valor para las muestras patrones con respecto a las que poseen microsílice, estos tienden a estabilizar, siendo el caso de la muestra MP4 distintos a sus dos predecesoras distinto, ya que ocurre una leve disminución del valor de su módulo de elasticidad calculado. Para los cuatro promedios de módulos calculados se observa que los mismos no presentan gran variación con respecto de su valor de módulo de elasticidad teórico los cuales rondan entre 1% y 9% de diferencia contra los valores de módulos calculados, a excepción del caso la muestra con adición en 15%, la cual tiene una variación de 17% con respecto a su valor teórico.

V.7. Resistencia a la Compresión

Para las mezclas patrón 1 (MP1), en valor promedio de resistencia a la compresión obtenido a los 28 días fue de 188,67 Kgf/cm² valor que se similar al de diseño y que cumple con los criterios de aceptación que se indican en el Manual de Concreto Estructural de J. Porrero, donde se establece que “todos cada uno de los resultados de ensayos individuales (cada uno promedio de dos o más pruebas de cilindros compañeros), debe ser igual o mayor que la resistencia de cálculo f'_c disminuida en 35 Kgf/cm².

En el caso de las muestras con contenido de microsíllice 1 (MS1), luego de hacer una sustitución de 10% de parte del cemento por microsíllice, la resistencia obtenida fue de 230,68 Kgf/cm² obteniendo un aumento en la resistencia a compresión de 22,22% respecto a los valores de resistencia obtenidos en la muestra patrón (Ver gráfico # IV.11).

El poco aumento en la resistencia a compresión de la muestra MS1 respecto a la muestra MP1 se debe en parte a que se extrajo un 10% del cemento del diseño mezcla patrón, por lo que aunque se añadiera esa misma cantidad en microsíllice el aumento de resistencia no fue tan elevado como en los casos que se realizó simplemente adición de microsíllice.

En las mezclas patrón 2 (MP2), el valor promedio de resistencia a la compresión obtenido a los 28 días fue de 231,14 Kgf/cm², valor que cumple con el criterio de aceptación del Manual del Concreto Estructural de J. Porrero antes descrito.

Los valores promedio obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión de la muestra MS2, con sustitución de 10% de cemento por

microsílice, son de 283,76 Kgf/cm² con lo que se establece un aumento de resistencia respecto a la muestra patrón 2 (MP2) de 22,73%. Este es un valor de aumento de resistencia similar al obtenido en el caso anterior y el poco aumento de resistencia se debe a las mismas causas, la extracción de cemento para la adición de microsílice.

La resistencia a compresión alcanzada por las mezclas MS3, con adición de 10 % de microsílice, fue de 333,61 Kgf/cm² valor que representa un aumento de la resistencia a la compresión respecto a la muestra patrón 2 (MP2) de 44,33%. Este porcentaje de aumento de resistencia es mucho mayor al obtenido en la muestra (MS2), lo cual deja en evidencia el efecto negativo que causa la sustitución de parte del cemento al momento de agregar microsílice.

Las muestras MS4, con adición de 15% de microsílice, obtuvieron un valor promedio de resistencia a la compresión a los 28 días de 360,83 Kgf/cm² el porcentaje de aumento de resistencia alcanzado respecto de la muestra patrón 2 (MP2), es de 56,11%. El mayor valor de porcentaje de resistencia se debe a que en este caso se añadió más microsílice.

El aumento de resistencia en los casos de las mezclas con contenido de microsílice se produce debido a que las pequeñas partículas de este material ocupan los pequeños espacios vacíos dentro de la mezcla otorgando mejor comportamiento de resistencia a la compresión.

Los porcentajes de aumento de resistencia obtenidos no son similares a los que se presentan en los catálogos de este material para los distintos tipos de fabricantes, incluyendo el catálogo del fabricante del microsílice con el que se trabajó.

V.8. Análisis económico

Los resultados obtenidos como costo total de las mezclas patrones MP1 de 180 Kg/cm² y MP2 de 250 Kg/cm², fueron de 306,24 Bs/m³ y 318,15 Bs/m³ respectivamente (ver tablas # IV.70 y # IV.72), con lo cual se observa un aumento leve del precio unitario del concreto por metro cúbico de concreto cercano al 4%, debido a la diferencia entre las dosis de cemento superior al 10%, mientras que la variación del costo de los agregados tanto fino como grueso no varían prácticamente.

El costo del concreto de las mezclas con adición parcial del 10% de la dosis de cemento por microsílíce, varía considerablemente con respecto a las muestras patrones MP1 y MP2, siendo para las mezclas con microsílíce MS1 (180 Kg/cm²) y para la MS2 (250 Kg/cm²), el precio unitario de 595,09 Bs/m³ y 650,60 Bs/m³ respectivamente (ver tablas # IV.71 y # IV.73), lo cual si se hace referencia a la variación del costo relativo entre las mismas, sólo se observa un aumento un poco menor del 10%, similar al caso de las muestras patrones, sin embargo, al contrastar las mezclas con microsílíce y las patrones, el resultado es de un aumento considerable en el precio del concreto por metro cúbico, llegando en el caso de las mezclas de 180 a un 94,32% de diferencia, y para las mezclas de 250 en un 104,49% (ver gráfico # IV.19).

De igual forma, se puede observar como al existir en el diseño de la mezcla de concreto un cambio con respecto a sus componentes agregándole microsílíce, la distribución de los costos para dicha mezcla se ven modificados en gran medida, pasando en un 72% a 44% para el costo de los agregados, de 28% a 16% para el cemento, y de esta manera represente el microsílíce un 40% del costo total de la mezcla (ver gráficos # IV.17 y # IV.18), teniendo en consideración que dicho material sólo fue

agregado al diseño, como sustitución del 10% de la dosis de cemento que se iba a utilizar.

En los resultados arrojados para el costo del concreto para el caso de los dos diseños de mezcla (MS3 y MS4) con adición de microsílíce en un 10% y 15% para 250 Kg/cm², se encontró un precio unitario de de 655,20 Bs/m³ y 823,73 Bs/m³ para MS3 y MS4 respectivamente (ver tablas # IV.74 y # IV.75), observando que en este caso la diferencia de precios entre cada una está en 20,45%, valor superior al encontrado en los diseños bajo sustitución de microsílíce, aunque esto, producto de la variación de la dosis de el nuevo agregado aumentando en un 5%, ya que los agregados y la dosis de cemento no se alteran. Asimismo, es notable como el costo del microsílíce en dichos concretos representa más del la mitad del costo total de la mezcla, constituyendo el 51% y el 61% del valor total por metro cúbico de las mezclas MS3 y MS4.

El resultado obtenido al realizarse la comparación de precios de los concretos estudiados según su resistencia y su tipo de diseño de mezcla siendo estas, las muestras patrones (MP1 y MP2), muestras con sustitución parcial de 10% de microsílíce por cemento (MS1 y MS2), y las muestras con adición de microsílíce en 10% y 15% (MS3 y MS4), encontramos como existe una distancia sustancial con respecto a los concreto de las mezclas patrones contra los que poseen microsílíce, observando cómo las muestras con sustitución de microsílíce en 10% (MS1 y MS2) a pesar de tener un contenido menor de cemento que las muestras con adición de microsílíce en 10%, están ubicadas entre las ramas de las mezclas MS3 y MS4 (ver gráfico # IV.19). En este caso, para los concretos que tienen microsílíce, la diferencia de su costo por metro cúbico se mantiene en un 16%, muy distante del 60% que separa las muestras patrones, con respecto de las muestras con adición de microsílíce en 10%.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 Conclusiones

- ❖ Los requisitos de calidad de los agregados nacionales no siempre se ajustan a los requerimientos mínimos presentados en las normas venezolanas, como por ejemplo la distribución granulométrica de los agregados ó el contenido de sedimentos en el agregado fino, lo que produce comportamientos distintos a los esperados en los diseños de mezclas.
- ❖ Al añadir microsílíce a la mezcla de concreto se produce un leve aumento en la trabajabilidad de la misma debido a que se torna más fluida por el aumento en la cantidad de pasta, esto trae como ventaja que las mezclas con contenido de microsílíce puedan ser empleadas en lugares donde se necesite una alta fluidez de la mezcla de concreto.
- ❖ Con el ensayo de ultrasonido se demuestra, al ser muy similares las velocidades en todas las mezclas, que el aumento de resistencia obtenido no depende una mayor densidad sino mas bien a la ocupación de los pequeños espacios vacios dentro de la mezcla de concreto por parte del microsílíce además de comprobar que todas las mezclas de concreto presentan similar homogeneidad.
- ❖ El peso unitario de la mezcla de concreto, al depender de la gravedad específica de cada uno de sus componentes, disminuye al aplicarse una sustitución de cemento por microsílíce dado que el peso unitario del microsílíce es un 10% menor que el del cemento, sin embargo al haber adición de microsílíce éste aumenta ya que no se está extrayendo contenido alguno de la mezcla original y el

material agregado tiene la propiedad de ocupar los espacios vacíos para un mismo volumen de mezcla.

- ❖ El módulo de elasticidad secante calculado de las muestras con sustitución de microsílice de bajas resistencias presenta un aumento con respecto a sus mezclas patrones, observando que este no se ve afectado en gran medida por el peso unitario, ya que los mismos se mantienen estables para cada una de las mezclas, mas sin embargo, dependen sustancialmente del aumento de la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días, la cual para el este caso aumento más de 22%.

En los casos de las muestras de concreto de medias resistencias, los módulos de elasticidad se mantuvieron similares a los valores teóricos de cada una de las mezclas, observando que los módulos de elasticidad aumentan conforme lo hace la resistencia a compresión al tener contenido de microsílice. Asimismo, en el caso de los concretos con adición de microsílice, se tiene un aumento en el valor de modulo de elasticidad secante calculado con respecto a los valores teóricos, aunque para el caso de las muestras con adición de microsílice en un 15%, estos tienden a tener una pequeña disminución por lo cual, al producirse mezclas con mayores porcentajes de dicho agregado, se van obteniendo concretos con menor capacidad de deformación.

- ❖ Los valores de resistencia a la compresión de las distintas muestras patrones aumentaron con el microsílice. En el caso de las mezclas en las que se realizo sustitución los aumentos obtenidos fueron de un 23% aproximadamente, mientras que en las mezclas que se realizó adición de microsílice el aumento fue mayor.

En este último caso los aumentos variaron en función de la cantidad de microsíllice añadido, resultando que para un 10% de adición se logró un 45% de aumento de resistencia y con un 15% de adición se obtuvo un 56% de aumento. Esto demuestra que es más óptimo realizar adición de microsíllice en lugar de sustitución ya que de esta forma se logran mayores aumentos de resistencia. En ninguno de los casos se obtuvo el aumento de resistencia que expresa el fabricante en los catálogos del producto, los cuales indican un aumento de la resistencia del 100% al realizar 10% de adición y un aumento de 150% al realizar 15% de adición de microsíllice.

- ❖ Para obtener grandes aumentos de resistencia, se requiere de la utilización de una cantidad considerable de microsíllice. Este material posee un alto precio unitario, elevando de manera considerable el costo del concreto por m³, un 60% como mínimo respecto a mezclas con adición de microsíllice, por lo que se convierte en una alternativa poco viable económicamente para la obtención de aumentos considerables de resistencias en concretos de bajas y medias resistencias, los cuales son utilizados comúnmente en la construcción.

En proporción a los precios de los componentes de una mezcla de concreto con microsíllice, de bajas y medias resistencias, este último representa un 40% del costo total de la mezcla dando muestras del gran influencia que tiene en el aumento de precio del concreto con la mencionada adición.

- ❖ La utilización de microsíllice en mezclas de concreto debe tenerse en cuenta bajo casos especiales para su aplicación, teniendo como consideración la realización previa de ensayos que respalden dicha consideración.

VI.2 Recomendaciones

- ❖ Se deben realizar ensayos de los agregados a ser utilizados en las mezclas de concreto, para así poder asegurarse que estos tengan la calidad y características necesarias.
- ❖ Al trabajar con microsílice, ya que contiene partículas muy finas, se deben ampliar las medidas de seguridad para la manipulación del mismo como guantes y mascarillas especiales.
- ❖ Es necesario, siempre que se vayan a utilizar nuevos agregados como en el microsílice en los diseños de mezcla, realizar los ensayos pertinentes y no utilizar como referencia los presentados en el catálogo del material.
- ❖ El microsílice puede ser de utilidad en los casos en que se requiera conseguir concretos de altas resistencias, a las cuales no se puede llegar con el cemento comúnmente encontrado en el mercado, o en los casos que se requiera una mayor fluidez en la mezcla, sin embargo se deben hacer los respectivos ensayos.
- ❖ En caso de que se desee aplicar microsílice en el diseño de mezcla lo recomendable es realizarlo por adición y no por sustitución parcial de cemento por microsílice.

REFERENCIAS GENERALES

ACI COMMITTEE 333 *State of the Art Report on High-Strength Concrete* (ACI 363 R-92). American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997

Aguilar R. (2007) *Determinación de la influencia de las nanomoléculas de sílice en el concreto frente a un factor que afecta su durabilidad*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Austral de Chile, Chile. Disponible: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcia2831d/doc/bmfcia2831d.pdf> [Consultada: 2009, Mayo 02]

COVENIN 354:2001 *“Método de mezclado de concreto en laboratorio”*.

COVENIN 268:1998 *“Agregado fino. Determinación de la densidad y absorción”*

COVENIN 269:1998 *“Agregado grueso. Determinación de la densidad y absorción”*,

COVENIN 272:1978 *“Método de ensayo para determinar la humedad superficial en el agregado fino”*.

COVENIN 255:1998 *“Agregados. Determinación de la composición granulométrica”*

COVENIN 277:2000 *“Concreto. Agregados. Requisitos”*

COVENIN 339:1994 *“Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams”*

COVENIN 344:2002 *“Concreto fresco. Toma de muestras”*

COVENIN 1681:1980 *“Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”*

Morataya Córdova, Carlos (2005) *Concreto de Alta Resistencia (Experiencia en Guatemala)*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Disponible: <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/087314.pdf> [Consultada: 2009, Mayo 04]

Porrero J. y otros. (2004) *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: SIDETUR. 503 p.

APÉNDICE



The Chemical Company

RHEOMAC® SF100

Aditivo mineral, microsíllice compactada

USOS RECOMENDADOS

- Estructuras de concreto reforzado con acero o aplicaciones de shotcrete vía húmeda expuestas a sales para deshielo o del aire
- Estructuras de estacionamiento, puentes, estructuras marinas, minas y túneles
- Cualquier proyecto de construcción que requiera la protección que da un concreto altamente durable y de baja permeabilidad
- Proyectos que requieran un concreto de alta resistencia/ alto desempeño para reducir el tamaño del elemento, incrementar la longitud del tramo, mejorar los costos estructurales y cumplir otros requerimientos estructurales de alto desempeño.

DESCRIPCION

RHEOMAC SF100 es un aditivo mineral de microsíllice compactada en polvo formulado para producir concreto o mortero extremadamente fuerte y durable con características especiales de desempeño. Maximiza la vida de uso del concreto proporcionando una resistencia superior al ataque de elementos ambientales dañinos.

VENTAJAS

Cumple con los requerimientos de la especificación ASTM C 1240 "Especificación Estándar para Microsílice usada en Concreto y Mortero para Cemento Hidráulico"

- Mayor cohesividad
- Menor exudación
- Mayor vida útil
- Mayor resistencia y módulo de elasticidad
- Menor permeabilidad que permite una mayor durabilidad
- Mejor resistencia a la reactividad de sílice alcalina

CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

Permeabilidad

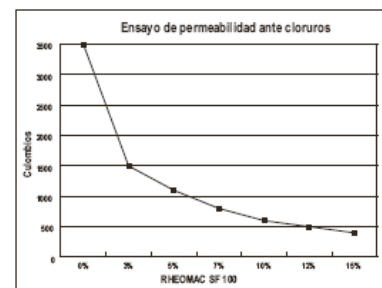
RHEOMAC SF 100 es un material de microllenado que físicamente llena los espacios entre las partículas de cemento; disminuye dramáticamente la permeabilidad y reduce el tamaño y número de capilares que permiten la entrada de contaminantes a la

matriz.

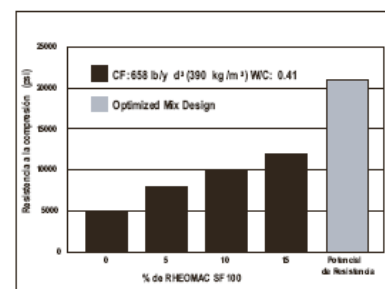
Resistencia a la Compresión

Siendo una pozolana, la microsíllice RHEOMAC SF 100 reacciona químicamente dentro de la matriz cementicia para incrementar la cantidad del silicato de calcio hidratado (gel CSH) que se forma. El gel de CSH es el agente adherente que mantiene unida la matriz de una mezcla cementicia en su estado endurecido. El gel adicional de CSH incrementa la resistencia y disminuye la permeabilidad.

Permeabilidad rápida ante cloruros



Ensayo sobre resistencia a la compresión típica





The Chemical Company

Gravedad específica

RHEOMAC® SF 100 tiene una gravedad específica de 2.2

APLICACION

Dosificación

Se recomienda usar RHEOMAC SF100 para aplicaciones de concreto o concreto lanzado vía húmeda en un rango de dosificación de 5.0 a 15% por peso de material cementicio.

Mezclado

Para el concreto y shotcrete por vía húmeda, RHEOMAC SF100 se dosifica y adiciona en la planta productora de cemento en forma similar al cemento u otros materiales cementicios como son las cenizas voladoras. Puede adicionarse a una mezcladora central o del camión. Siga el procedimiento indicado en la especificación ASTM C 94, Especificación Estándar para Concreto Premezclado o haga referencia a la Guía del Usuario para Concretos con RHEOMAC SF 100 para instrucciones especiales de dosificación y mezclado.

RECOMENDACIONES

Corrosividad

No contiene Cloruros, No Corrosivo

El aditivo de microsilíce RHEOMAC SF100 no iniciará o promoverá la corrosión del acero reforzado embebido en el concreto o mortero. Ni el cloruro de calcio ni otros ingredientes con cloruros son usados en la manufactura de RHEOMAC SF 100.

Compatibilidad

RHEOMAC SF100 puede usarse con los cementos Portland aprobados de conformidad con las especificaciones ASTM, AASHTO o CRD. Es compatible con la mayoría de los aditivos para concreto, incluyendo todos los aditivos de BASF Construction Chemicals. Se recomienda usar RHEOMAC SF100 con aditivos reductores de agua de alto rango como GLENIUM® 3000 NS para obtener una máxima manejabilidad a la vez de mantener una baja relación agua: materiales cementicios.

ALMACENAMIENTO

RHEOMAC SF100 tiene una vida útil de 24 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor. El material envasado puede almacenarse indefinidamente en un área seca.

RHEOMAC SF100 se almacena, maneja y surte en forma similar al cemento o cenizas voladoras. Puede almacenarse en silos cuando está a granel. Consulte la Guía del Usuario de Concreto con Microsilíce RHEOMAC SF 100 cuando requiera información sobre el ajuste adecuado para el bombeo y manejo de microsilíce dentro de los silos.

EMPAQUE

RHEOMAC SF100 se suministra en sacos triturables de 11.6 kg (25 lb), super sacos de 907 kg (2000 lb) o a granel.

SEGURIDAD

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto.

Para información adicional sobre este producto, consulte a su representante local de BASF Construction Chemicals Venezuela.

BASF Construction Chemicals Venezuela S.A.				
Oficina Central Av. Libertador, C.C. Av. Libertador, Torre Oeste, PH3, Calles Negriv Jabillos, La Florida Caracas, Distrito Capital 58-212-762.5471	Oficina Zulia Calle 70, entre avenidas 09 y 10 Local 9-B-68 Sector Tierra Negra Maracaibo, Estado Zulia, +58-261-798.2796	Oficina Barcelona Via Los Mesones, Asociación de Ganaderos, Galpón No.6, Barcelona, Estado Anzoátegui +58-281-276.0214	Oficina Valencia Urb. Industrial Carabobo Avenida Norte 1, C.C. Valentino Local 7 Valencia, Estado Carabobo +58-241-832.1878	Planta Ocumare del Tuy Carretera Nacional Charallave Sector Piloncillo, Ocumare del Tuy Estado Miranda +58-239-225.9667

© Marca registrada de BASF Aktiengesellschaft
© 2007 BASF Construction Chemicals Venezuela

www.basf-cc-la.com

02/07
RheomacSF100-ve.pmd