

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL USO DE MICROSILICE COMO ADICIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por el Br:
Noriega Medina, Daniel Alejandro

Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2011

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL USO DE MICROSILICE COMO ADICIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Ronald Torres

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por el Br:

Noriega Medina, Daniel Alejandro

Para optar al Título de

Ingeniero Civil

Caracas, 2011

ACTA

El día 04 de noviembre de 2011 se reunió el jurado formado por los profesores:

Ronald Torres
Ejisto Hernandez
Trino Saloa

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "**EVALUACIÓN DEL USO DE MICROSILICE COMO ADICIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA**".

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

Una vez oída la defensa oral que el bachiller hizo de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió la siguiente calificación:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Daniel A. Noriega M.	20	VEINTE

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO

[Firma]
[Firma]
[Firma]

Caracas, 04 de 11 de 2011

DEDICATORIA

A quien debo éste triunfo y todo lo que consigo en la vida!!!

MADRE, jamás tendré como pagar el amor incondicional que me diste...

Le doy gracias a Dios por haberme dado el mejor de

todos los regalos de la vida...

Ser tu hijo... Te amo y te amaré siempre...

Papá, a ti que con tesón y mucho esfuerzo has logrado encaminar a tus

hijos siempre con los mejores principios y valores...

Gracias por estar allí siempre!!!

Alejandra, si volviera a nacer, le pediría fervientemente a Dios volver

a ser tu hermano, fuiste, eres y serás mi mejor modelo a seguir,

he aquí lo prometido... Te amo!!!

Angel y Gerardo, a ustedes porque son el reflejo de

muchas de mis vivencias, siempre estaré con ustedes...

A DIOS... porque nunca nos desampará...

AGRADECIMIENTOS

A Dios, el Todopoderoso, Gracias por mantenerme de pie, a pesar de las circunstancias...

Al profesor Ronald Torres, por su paciencia y compromiso... Le estaré agradecido siempre.

A mis compañeros incondicionales; Elis Timaure, Eduardo González y Eduardo Saad, ustedes superaron la humildad... los llevaré siempre conmigo!

A Roselis, Rafa, Karina, Adrian, Alberto (negro), Ani, Verónica, Aretha... por su colaboración constante...

A mis tías, Carmen, Magaly, Camelia, Hermelinda y Gladys, sin sus consejos y su apoyo no hubiese podido pasar tantos obstáculos en este camino universitario!...Las quiero infinito!

A mis dos mujeres amadas, Alida y Alejandra, madre y hermana... sin ustedes no hubiese llegado hasta aquí...

A todos los que de manera consciente o no, siempre me tendieron la mano en los momentos difíciles...

GRACIAS... TOTALES!!!

Noriega M, Daniel A.

EVALUACIÓN DEL USO DE MICROSILICE COMO ADICIÓN EN MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Tutor Académico: Prof. Ronald V, Torres M.

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

Escuela de Ingeniería Civil. 2011. 150 pág.

Palabras Clave: Concreto, Microsílice, Resistencia, Adición.

Resumen. La falta de disponibilidad inmediata en el país de agregados y cementos ideales para la elaboración de concretos de alta resistencia, ha generado una masificación del uso de aditivos que mejoren el desempeño de los mismos en su aplicación, muchas veces sin una visión clara de la respuesta de los agregados nacionales ante la acción de estos aditivos. La investigación que ocupa al presente Trabajo Especial de Grado pretende evaluar el uso de microsílice como aditivo mejorador de la resistencia a la compresión de concretos diseñados para altas resistencias con productos nacionales. Utilizando las normativas vigentes en el país y con el apoyo del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la U. C.V., en la asesoría técnica sobre ensayos y pruebas al concreto, se evaluaron mezclas de concreto patrones, mezclas con sustitución parcial de cemento por microsílice y mezclas con adición en peso del aditivo, con el objetivo de comparar las características físicas entre los diseños y confirmar la utilidad de esta forma mineral sobre la elaboración de concretos de alta resistencia. Se determinó que la adición del microsílice para concretos con estas dosificaciones aumenta su resistencia a la compresión en un 38% adicional, sin asegurar que la sola presencia del aditivo garantiza un incremento sustancial de la resistencia como lo anuncian los distribuidores del producto.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I:.....	2
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
I.1 Planteamiento del problema	3
I.2 Objetivos	5
I.2.1 Objetivo general.....	5
I.2.2 Objetivos específicos.....	5
I.3 Aportes.....	6
I.4 Alcance	7
CAPÍTULO II:.....	8
MARCO TEÓRICO	8
II.1 Concreto de Alta Resistencia.....	9
I.1.1 Antecedentes.....	9
II.1.2 El Concreto Estructural.....	10
II.1.2.1 Los componentes del concreto.....	10
II.1.2.1.1 El Cemento Portland	10
II.1.2.1.2 Los Agregados	11
II.1.2.1.2.1 Control de calidad de los agregados.....	12
II.1.2.1.2.2 La Granulometría	12
II.1.2.1.2.3 El Tamaño máximo	13
II.1.2.1.2.4 La Segregación	13
II.1.2.1.3 El Agua de mezclado	14
II.1.2.2 Propiedades del concreto.....	15
II.1.2.2.1 Concreto Fresco.....	15
II.1.2.2.1.1 Principales características	16
II.1.2.2.1.2 La Trabajabilidad.....	16
II.1.2.2.1.3 La Retracción.....	16

II.1.2.2.2 Concreto Endurecido.....	17
II.1.2.2.2.1 La Resistencia.....	17
II.2 El Microsílice	18
II.2.1 Propiedades.....	18
II.2.2 Definición	18
II.2.3 Producción de Microsílice	19
II.2.4 Acción del Microsílice en el Concreto	20
II.3 Mezclas de Concreto	21
II.3.1 Proporción de agregados.....	21
II.3.1.1 Agregado grueso	21
II.3.1.2 Agregado Fino	22
II.3.2 Relación agua-cemento	22
II.3.2.1 Contenido de cemento.....	23
II.4 Producción de muestras para Ensayos.....	24
II.4.1 Ensayos de los agregados.....	24
II.4.1.1 Granulometría.....	24
II.4.1.1.1 Agregados gruesos	25
II.4.1.1.2 Agregados finos	26
II.4.1.2 Contenido de humedad	27
II.4.2 El Diseño de Mezclas	29
II.4.3 Elaboración de Mezclas.....	29
II.4.3.1 Cono de Abrams.....	31
II.4.3.2 Las Probetas cilíndricas.....	32
II.4.4 El proceso de Curado de probetas	33
II.4.5 Ensayos del concreto.....	33
II.4.5.1 Resistencia a la Compresión	33
II.4.5.2 Ultrasonido	34

II.4.5.3 Resistencia a la tracción Indirecta	35
CAPITULO III:	37
MÉTODO.....	37
III.1 Aspectos Generales.....	38
III.2 Método de Trabajo	39
III.2.1 Almacenamiento de agregados, cemento y microsílíce	39
III.2.2 Análisis de los agregados.....	40
III.2.2.1 Granulometría.....	40
III.2.2.2 Porcentaje de humedad.....	42
III.2.2.3 Densidad y porcentaje de absorción de los agregados	43
III.2.3 Diseño de mezclas	48
III.2.3.1 Relación Agua/Cemento.....	51
III.2.3.2 Relación Triangular, cantidad cemento a utilizar.	53
III.2.3.3 Volumen de Cemento en la mezcla.....	54
III.2.3.4 Volumen de aire atrapado y dosis de agua.	55
III.2.3.5 Volumen de los agregados.	56
III.2.3.6 Corrección por humedad del agregado.	58
III.2.4 Mezclado	61
III.2.5 Preparación de las probetas cilíndricas y curadas del concreto .	65
III.2.6 Ensayos de las probetas de concreto.....	69
III.2.6.1 Ensayos de Ultrasonido.....	70
III.2.6.2 Ensayos de Resistencia a la Compresión	72
III.2.6.3 Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta	75
CAPITULO IV:	78
RESULTADOS.....	78
IV.1 Análisis de los agregados.....	79
IV.1.1 Granulometría	79
IV.1.1.1 Granulometría del agregado grueso.	79

IV.1.1.2 Granulometría del agregado fino.....	81
IV.1.2 Módulo de finura para agregado fino.....	82
IV.1.3 Porcentaje de humedad de los Agregados.....	83
IV.1.3.1 Contenido de Humedad del Agregado Fino.	83
IV.1.3.2 Contenido de Humedad del Agregado Grueso.	83
IV.1.4 Densidad y Absorción de los Agregados.....	83
IV.1.4.1 Densidad y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino.	84
IV.1.4.2 Densidad y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso.	84
IV.2 Diseño de Mezclas	85
IV.2.1 Diseño de mezcla para la Muestra Patrón con $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$. 85	
IV.2.2 Diseño de mezcla para la Muestra con Sustitución del 10% de cemento por microsilíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$	86
IV.2.3 Diseño de mezcla para la Muestra con Adición del 10% de microsilíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$	86
IV.2.4 Diseño de mezcla para la Muestra con Adición del 15% de microsilíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$	87
IV.2.5 Diseño de mezcla para la Muestra Patrón con $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$. 87	
IV.2.6 Diseño de mezcla para la Muestra con Sustitución del 10% de cemento por microsilíce y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$	88
IV.2.7 Diseño de mezcla para la Muestra con Adición del 10% de microsilíce y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$	88
IV.2.8 Diseño de mezcla para la Muestra con Adición del 15% de microsilíce y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$	89
IV.3 Cono de Abrams.....	89
IV.3.1 Mezclas diseñadas para resistencia de 280 Kgf/cm^2	89
IV.3.2 Mezclas diseñadas para resistencia de 350 Kgf/cm^2	90
IV.4 Ensayo de Ultrasonido.....	90

IV.4.1 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra Patrón con $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$	90
IV.4.2 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Sustitución del 10% de cemento por microsílíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$	90
IV.4.3 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Adición del 10% de microsílíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$	91
IV.4.4 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Adición del 15% de microsílíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$	91
IV.4.5. Ensayo de Ultrasonido para la Muestra Patrón con $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$	91
IV.4.6 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Sustitución del 10% de cemento por microsílíce y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$	92
IV.4.7 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Adición del 10% de microsílíce y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$	92
IV.4.8 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Adición del 15% de microsílíce y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$	92
IV.4.9 Relación de homogeneidad entre las muestras patrones y las muestras con contenido de microsílíce para cada tipo de resistencia.	93
IV.5 Peso Unitario.	94
IV.6 Resistencia a la Compresión	95
IV.6.1 Resultados para la Muestra Patrón, $f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$	95
IV.6.2 Resultados para la Muestra MS $f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$ con Sustitución de 10% de cemento por microsílíce	98
IV.6.3 Resultados para la Muestra MA10 $f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$ con Adición del 10% de microsílíce.	101
IV.6.4 Resultados para la Muestra MA15 $f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$ con Adición de 15% de microsílíce.	104
IV.6.5 Resultados para la Muestra Patrón MP $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$	108

IV.6.6 Resultados para la Muestra MS $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con Sustitución de 10% de cemento por microsílíce	111
IV.6.7 Resultados para la Muestra MA10 $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con Adición de 10% de microsílíce	114
IV.6.8 Resultados para la Muestra MA15 $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con Adición de 15% de microsílíce	117
IV.7 Resistencia a la Tracción Indirecta	121
IV.7.1 Resultados para la Muestra Patrón, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	121
IV.7.2 Resultados para la MS, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílíce	122
IV.7.3 Resultados para la MA10, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con adición del 10% de microsílíce	122
IV.7.4 Resultados para la MA15, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 15% de microsílíce	123
IV.7.5 Resultados para la MP, $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$	123
IV.7.6 Resultados para la MS, $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílíce	124
IV.7.7 Resultados para la MA10, $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 10% de microsílíce	124
IV.7.8 Resultados para la MA15, $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 15% de microsílíce	125
IV.8 Estructura de Costos	125
IV.8.1 Costos de las muestra patrón MP con $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	126
IV.8.2 Costos de las muestra patrón MS, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílíce	126
IV.8.3 Costos de las muestra patrón MA10 con $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 10% de microsílíce	127

IV.8.4 Costos de las muestra patrón MA15 con $f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 15% de microsílíce.....	127
IV.8.5 Costos de las muestra patrón MP con $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$	128
IV.8.6 Costos de las muestra patrón MS, $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsílíce.....	128
IV.8.7 Costos de las muestra patrón MA10 con $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 10% de microsílíce.....	129
IV.8.8 Costos de las muestra patrón MA15 con $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 15% de microsílíce.....	129
IV.8.9 Comparación de costos de producción de concretos con contenido de microsílíce y concretos sin el contenido del mismo.	130
CAPITULO V:	131
ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	131
V.1 Granulometría.....	132
V.1.1 Agregado grueso	132
V.1.2 Agregado fino	132
V.2 Contenido de Humedad.....	133
V.2.1 Agregado grueso.....	133
V.2.2 Agregado fino	133
V.3 Densidad y Absorción.....	134
V.3.1 Agregado grueso.....	134
V.3.2 Agregado fino	134
V.4 Asentamiento de la mezcla. Cono de Abrams.....	135
V.5 Ensayo de Ultrasonido.....	136
V.6 Peso Unitario	137
V.7 Resistencia a la Compresión	138
V.8 Resistencia a la Tracción Indirecta	140

V.9 Estructura de costo.....	141
CAPITULO VI:	143
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
VI.1 Conclusiones	144
VI.2 Recomendaciones	146
REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS	147
APÉNDICE.....	149

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de los porcentajes en peso que pasan los dos (2) cedazos de aberturas cuadradas.	25
Tabla 2. Límites en la granulometría.	27
Tabla 3. Materiales, herramientas y maquinaria empleada.	39
Tabla 4. Desviación estándar en el diseño de mezcla según control de calidad de los agregados.	49
Tabla 5. Factor de corrección (K_r) de la relación agua/cemento por tamaño máximo.	51
Tabla 6. Factor de corrección (K_a) de la relación agua/cemento por tipo de agregados.	52
Tabla 7. Factores de corrección de la cantidad de cemento por tamaño máximo de agregados.	53
Tabla 8. Factores de corrección de la cantidad de cemento por tipo de agregados.	54
Tabla 9. Edades de Probetas para ultrasonido.	71
Tabla 10. Edades de Probetas para ensayo de Resistencia a la Compresión.	74
Tabla 11. Edades de Probetas para ensayo Brasiero o de Tracción Indirecta.	76
Tabla 12. Pesos de Agregado Grueso y Bandeja.	79
Tabla 13. Resultados del Ensayo Granulométrico del Agregado Grueso.	79
Tabla 14. Pesos de Agregado Fino y Bandeja.	81
Tabla 15. Resultados del Ensayo Granulométrico del agregado fino.	81
Tabla 16. Módulo de Finura para Agregado Fino.	82
Tabla 17. Porcentaje de Humedad presente en el Agregado Fino (Arena Natural).	83
Tabla 18. Porcentaje de Humedad presente en el Agregado Grueso (Piedra Picada # 1).	83
Tabla 19. Pesos de la Muestra de Agregado Fino.	84
Tabla 20. Porcentaje de Absorción, Densidad Nominal y Densidad Aparente para la muestra de Agregado Fino (Arena Natural).	84
Tabla 21. Pesos de la Muestra de Agregado Grueso.	84

Tabla 22. Porcentaje de Absorción, Densidad Nominal y Densidad Aparente para la muestra de Agregado Grueso (Piedra Picada # 1).....	84
Tabla 23. Diseño de Mezcla para Muestra Patrón MP (280 Kgf/cm ²).	85
Tabla 24. Diseño de Mezcla para Muestra MS (280 Kgf/cm ²).....	86
Tabla 25. Diseño de Mezcla para Muestra MA10 (280 Kgf/cm ²).....	86
Tabla 26. Diseño de Mezcla para Muestra MA15 (280 Kgf/cm ²).....	87
Tabla 27. Diseño de Mezcla para Muestra Patrón MP (350 Kgf/cm ²).	87
Tabla 28. Diseño de Mezcla para Muestra MS (350 Kgf/cm ²).....	88
Tabla 29. Diseño de Mezcla para Muestra MA10 (350 Kgf/cm ²).....	88
Tabla 30. Diseño de Mezcla para Muestra MA15 (350 Kgf/cm ²).....	89
Tabla 31. Asentamientos obtenidos en las mezclas diseñadas para resistencias de 280 Kgf/cm ²	89
Tabla 32. Asentamientos obtenidos en las mezclas diseñadas para resistencias de 350 Kgf/cm ²	90
Tabla 33. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra Patrón MP (280 Kgf/cm ²) a los 28 días.	90
Tabla 34. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MS (280 Kgf/cm ²) a los 28 días.	90
Tabla 35. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MA10 (280 Kgf/cm ²) a los 28 días.	91
Tabla 36. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MA15 (280 Kgf/cm ²) a los 28 días.	91
Tabla 37. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra Patrón MP (350 Kgf/cm ²) a los 28 días.	91
Tabla 38. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MS (350 Kgf/cm ²) a los 28 días.	92
Tabla 39. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MA10 (350 Kgf/cm ²) a los 28 días.	92
Tabla 40. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MA15 (350 Kgf/cm ²) a los 28 días.	92
Tabla 41. Relación entre las velocidades de pulso ultrasónico de las muestras con contenido de microsilíce y las muestras patrones para cada tipo de resistencia. .	93

Tabla 42. Valores de peso unitario para las mezclas con $f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$ y a las diferentes edades.....	94
Tabla 43. Valores de peso unitario para las mezclas con $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$ y a las diferentes edades.....	94
Tabla 44. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) a los 7 días.....	95
Tabla 45. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) a los 14 días.....	96
Tabla 46. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) a los 21 días.....	96
Tabla 47. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) a los 28 días.....	97
Tabla 48. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 7 días.....	98
Tabla 49. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución los 14 días.....	98
Tabla 50. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 21 días.....	99
Tabla 51. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 28 días.....	99
Tabla 52. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MA10 ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de adición a los 7 días.	101
Tabla 53. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MA10 ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de adición a los 14 días.	101
Tabla 54. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MA10 ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de adición a los 21 días.	102
Tabla 55. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MA10 ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de adición a los 28 días.	102
Tabla 56. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MA15 ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 15% de adición a los 7 días.	104
Tabla 57. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MA15 ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 15% de adición a los 14 días.	104
Tabla 58. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MA15 ($f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 15% de adición a los 21 días.	105

Tabla 59. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MA15 ($f'c=280$ Kgf/cm ²) con 15% de adición a los 28 días.	105
Tabla 60. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c=350$ Kgf/cm ²) a los 7 días.....	108
Tabla 61. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c=350$ Kgf/cm ²) a los 14 días.....	108
Tabla 62. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c=350$ Kgf/cm ²) a los 21 días.....	109
Tabla 63. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c=350$ Kgf/cm ²) a los 28 días.....	109
Tabla 64. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MS ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con sustitución de 10% a los 7 días.....	111
Tabla 65. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MS ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con sustitución de 10% a los 14 días.....	111
Tabla 66. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MS ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con sustitución de 10% a los 21 días.....	112
Tabla 67. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MS ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con sustitución de 10% a los 28 días.....	112
Tabla 68. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA10 ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con adición de 10% a los 7 días.	114
Tabla 69. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA10 ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con adición de 10% a los 14 días.	114
Tabla 70. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA10 ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con adición de 10% a los 21 días.	115
Tabla 71. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA10 ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con adición de 10% a los 28 días.	115
Tabla 72. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA15 ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con adición de 15% a los 7 días.	117
Tabla 73. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA15 ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con adición de 15% a los 14 días.	117
Tabla74. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA15 ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con adición de 15% a los 21 días.	118
Tabla 75. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA15 ($f'c=350$ Kgf/cm ²) con adición de 15% a los 28 días.	118

Tabla 76. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MP ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.....	121
Tabla 77. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MS ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.....	122
Tabla 78. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MA10 ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.	122
Tabla 79. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MA15 ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.	123
Tabla 80. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MP ($f'c=350\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.....	123
Tabla 81. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MS ($f'c=350\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.....	124
Tabla 82. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MA10 ($f'c=350\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.	124
Tabla 83. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MA15 ($f'c=350\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.	125
Tabla 84. Costos de elaboración de mezclas de concreto sin contenido de microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 284 Kgf/cm^2 a los 28 días.	126
Tabla 85. Costos de elaboración de mezclas de concreto con sustitución de 10% de cemento obteniendo una resistencia a la compresión de 323 Kgf/cm^2 a los 28 días.	126
Tabla 86. Costos de elaboración de mezclas de concreto con adición del 10 % de microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 415 Kgf/cm^2 a los 28 días.	127
Tabla 87. Costos de elaboración de mezclas de concreto adición del 15 % de microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 431 Kgf/cm^2 a los 28 días.	127
Tabla 88. Costos de elaboración de mezclas de concreto sin contenido de microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 379 Kgf/cm^2 a los 28 días.	128
Tabla 89. Costos de elaboración de mezclas de concreto con sustitución de 10% de cemento obteniendo una resistencia a la compresión de 420 Kgf/cm^2 a los 28 días.	128

Tabla 90. Costos de elaboración de mezclas de concreto con adición del 10 % de microsílíce obteniendo una resistencia a la compresión de 458 Kg/cm² a los 28 días. 129

Tabla 91. Costos de elaboración de mezclas de concreto con adición del 15 % de microsílíce obteniendo una resistencia a la compresión de 406 Kg/cm² a los 28 días. 129

INDICE DE GRAFICAS

Gráfico 1. Curva Granulométrica para el Agregado Grueso.....	80
Gráfico 2. Curva Granulométrica para el Agregado Fino.	82
Gráfico 3. Comportamiento de la MP ($f'c = 280 \text{Kgf/cm}^2$).....	97
Gráfico 4. Comportamiento de MS ($f'c= 280 \text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución...	100
Gráfico 5. Comportamiento de MA10 ($f'c=280 \text{Kgf/cm}^2$) con 10% de adición.	103
Gráfico 6. Comportamiento de MA15 ($f'c=280 \text{Kgf/cm}^2$) con 15% de adición.	106
Gráfico 7. Comparación entre Muestras Patrones y Muestras con contenido de Microsílice (Para $f'c=280 \text{kgf/cm}^2$).....	107
Gráfico 8. Comportamiento de MP ($f'c= 350 \text{Kgf/cm}^2$).....	110
Gráfico 9. Comportamiento de MS ($f'c= 350 \text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución...	113
Gráfico 10. Comportamiento de MA10 ($f'c= 350 \text{Kgf/cm}^2$) con 10% de adición.	116
Gráfico 11. Comportamiento de MA15 ($f'c= 350 \text{Kgf/cm}^2$) con 15% de adición. .	119
Gráfico 12. Comparación entre Muestras Patrones y Muestras con contenido de Microsílice (Para 350kgf/cm^2).....	120
Gráfico 13. Comparación de Costos de producción de concretos con y sin contenido de microsíllice.....	130

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Contenido de humedad del agregado fino o grueso	42
Ecuación 2. Densidad aparente de la muestra de agregado fino en condición de saturada y con superficie seca	44
Ecuación 3. Densidad Nominal de la muestra de agregado fino.	45
Ecuación 4. Porcentaje de absorción de la muestra de agregado fino.....	45
Ecuación 5. Densidad aparente de la muestra de agregado seco en condición de saturada y con superficie seca.	47
Ecuación 6. Densidad Nominal de la muestra de agregado grueso.....	47
Ecuación 7. Relación agua/cemento	51
Ecuación 8. Relación agua/cemento corregida.	52
Ecuación 9. Relación triangular.....	53
Ecuación 10. Cantidad de cemento corregida.....	54
Ecuación 11. Volumen de aire atrapado en la mezcla de concreto.....	55
Ecuación 12. Agua de Diseño	55
Ecuación 13. Peso específico de las combinaciones de los agregados.....	56
Ecuación 14. Cantidad total de agregados en la mezcla de concreto.	57
Ecuación 15. Cantidad de agregado fino en la mezcla de concreto.....	58
Ecuación 16. Cantidad de agregado grueso en la mezcla de concreto.....	58
Ecuación 17. Humedad aportada a la mezcla por el agregado grueso.	59
Ecuación 18. Humedad aportada a la mezcla por el agregado fino	59
Ecuación 19. Cálculo de la cantidad de agua a utilizar en la mezcla.	60

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Configuración de la carga (a) y rotura del ensayo de tracción indirecta (b).....	35
Imagen 2. Distribución de tensiones teórica sobre los planos diametral y vertical para el ensayo de tracción indirecta.....	36
Imagen 3. Almacenamiento del cemento y el microsílíce.....	40
Imagen 4. Agregados colocados en área de trabajo.....	41
Imagen 5. Dosificación de componentes en peso. Indicador de la balanza empleada para el pesaje.....	50
Imagen 6. Mezcladora eléctrica empleada.....	61
Imagen 7. Limpieza y engrase de moldes cilíndricos.....	62
Imagen 8. Mezclado en proceso.....	63
Imagen 9. Ensayo del Cono de Abrams.....	64
Imagen 10. Asentamiento de una mezcla con adición de microsílíce.....	65
Imagen 11. Preparación y vaciado de probetas.....	66
Imagen 12. Elaboración de probetas.....	67
Imagen 13. Desencofrado de probetas.....	67
Imagen14. Piscina de curado de probetas.....	68
Imagen 15. Instrumentos de medición y pesaje de probetas.....	69
Imagen 16. Instrumento para el ensayo de Ultrasonido.....	70
Imagen 17. Prensa para el ensayo de Resistencia a la Compresión.....	72
Imagen 18. Ensayo de Resistencia a la compresión en ejecución.....	73
Imagen 19. Posición de la probeta para el ensayo Brasileró.....	75
Imagen 20. Falla de la probeta luego del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.....	77

INTRODUCCIÓN

La evaluación objeto del presente Trabajo Especial de Grado comprende el estudio de mezclas de concreto diseñadas para altas resistencias con contenido de microsílíce, este último como aditivo potenciador de la resistencia a la compresión.

En aras de llevar a cabo la investigación, se aplicaran pruebas y ensayos con métodos de la normativa venezolana, a fin de evaluar los aspectos y características propias del concreto, tanto físicas como mecánicas, con el propósito de fundamentar comparaciones entre mezclas sin contenido de microsílíce y mezclas adicionadas con el compuesto. Adicional a lo anterior, será posible analizar la estructura de costo de producción de las distintas mezclas.

Las pruebas o ensayos como actividades experimentales atienden de manera directa a la determinación de valores de trabajabilidad, homogeneidad y resistencia a la compresión.

Si bien en la actualidad, los aditivos para concretos tienen una amplia aplicación en Venezuela, la investigación marcará un precedente en materia de tecnología del concreto, y en el uso de microsílíce en el diseño de mezclas de concreto de altas resistencias, que de manera paradójica tienen utilidad específica en proyectos de gran envergadura.

CAPITULO I:

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

I.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial, las edificaciones realizadas con concreto, muchas veces requieren de la adición de compuestos ultrafinos que mejoren la resistencia de acuerdo a las exigencias de las estructuras que se construirán; para ello se han realizando estudios sobre la influencia que tienen las adiciones de compuestos inorgánicos sobre el comportamiento del concreto, utilizado en estructuras que requieren alta resistencia, haciendo uso de modelos empíricos y el análisis de las propiedades de las mezclas de concreto en estudio; un ejemplo de ello son los trabajos de Vilca (2.008), sobre la obtención del concreto de alta resistencia y Torre (2.008), sobre el uso de adiciones minerales para mejorar la durabilidad del concreto.

El uso de aditivos en el concreto se remonta al siglo XIX, tiempo después de que Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1.824 el Cemento Portland, que se conoce actualmente como una mezcla caliza arcillosa y carbón calcinados a alta temperatura. Según Porrero, Ramos, Grases y Velazco (2.004):

“En Venezuela los aditivos llegan a finales de los años cuarenta. En la década de los 70, se comienza su fabricación en el país, incorporando progresivamente mayor proporción de materias primas nacionales. En la actual tecnología del concreto, los aditivos han perdido su primitivo carácter misterioso y con ello se pueden obtener concretos de mayores exigencias” (pág.165). Es decir, el uso de aditivos en concretos en nuestro país no tiene más de 70 años y la fábrica nacional de estos productos es de más reciente data

Principalmente estas adiciones de compuestos inorgánicos están constituidas por calizas molidas, puzolanas y microsílíce, reflejando esta última, el punto de interés de este proyecto de investigación.

En Venezuela, no existen estudios que permitan de alguna manera cuantificar las cantidades apropiadas de este tipo de adiciones en mezclas de concreto con materiales nacionales, y menos aun para lograr específicamente altos valores de resistencia a la compresión. En vista de lo anterior, se hace necesario realizar una evaluación de laboratorio que permita establecer cuál es el comportamiento de las mezclas de concreto ante la adición de la microsílíce en el proceso de su constitución.

Para productores, constructores, ingenieros y proyectistas resulta un inconveniente no poseer conocimiento del comportamiento que tendrá una mezcla de concreto diseñada para alta resistencia al agregar microsílíce como aditivo para ayudar a mejorar las condiciones de la misma, tales como disminución de la cantidad de agua, cemento, aumento de las resistencia, entre otros.

I.2 Objetivos

I.2.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento de diferentes mezclas de concreto de alta resistencia, mediante el uso de microsílice como sustituto parcial del cemento y como adición del mismo en dichas mezclas.

I.2.2 Objetivos específicos

- 1.- Caracterizar los agregados a utilizar en las mezclas de concreto mediante ensayos.
- 2.- Diseñar y elaborar mezclas de concreto modelos o patrones y mezclas de concreto con sustitución parcial de cemento por microsílice y con adición del mismo compuesto en varias proporciones.
- 3.- Obtener las resistencias a la compresión de las mezclas diseñadas mediante el ensayo de compresión.
- 4.- Analizar las propiedades de las mezclas en estudio mediante ensayos de laboratorio.
- 5.- Comparar las resistencias alcanzadas en la mezclas patrones con las mezclas con presencia del microsílice, tanto en la sustitución del cemento como en la adición del mismo.
- 6.- Elaborar curvas de comportamiento de la resistencia de los concretos y su estructura de costo.

I.3 Aportes

Esta investigación intentará cuantificar las diferencias entre las propiedades del concreto con sustitución de cemento por microsíllice y con adición del mismo en distintas proporciones, para establecer bondades económicas y estructurales del uso de este aditivo en el diseño de mezclas de concreto para vaciado.

Así mismo, la investigación aportará conocimiento en materia de tecnología del concreto, en tanto se contribuye con la formación de nuevos criterios de diseño de mezclas de concreto con agregados nacionales, para potenciar sus propiedades físicas y mecánicas

Además se lograría potenciar el diseño de mezclas de concreto con altas resistencias para estructuras que así lo requieran y la disminución de costos de construcción de tales estructuras, como beneficio social último.

Finalmente, la investigación contribuirá con la ampliación del conocimiento en tecnología de concreto, a la vez que da pié para el estudio de otras soluciones constructivas de carácter estructural y de carácter económico.

I.4 Alcance

La evaluación a desarrollar en esta investigación se limitará a dos valores de resistencias consideradas altas en el ámbito nacional.

Se contempla el estudio de las mezclas con presencia de microsíllice en tres formas de dosificación; la primera sustituyendo el cemento por microsíllice, en una cantidad igual al 10% del peso del cemento utilizado en las mezclas patrones; la segunda, adicionando microsíllice en una cantidad igual al 10% del peso del cemento utilizado en la mezcla patrón y la última adicionando microsíllice en una cantidad igual al 15% del peso del cemento de la mezcla patrón.

CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

II.1 Concreto de Alta Resistencia

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.

I.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 microsílíce 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 Estructural

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 Los componentes del concreto

II.1.2.1.1 El 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.

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

II.1.2.1.2 Los 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 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 Control de calidad de los agregados

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 La 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 El 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 La Segregación

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

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

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 El 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)

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/cm^2 .
- 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. Está características 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 Principales 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 compactabilidad y estabilidad a la segregación.

II.1.2.2.1.2 La 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

II.1.2.2.1.3 La 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.

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

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 La 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 El 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 Propiedades

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 de Microsílice

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 microsíllice 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 microsíllice. 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 microsíllice, 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 Acción del Microsílice en el Concreto

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 microsílice 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 microsílice es una puzolana, material silíceo o aluminio-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 microsílice son ultrafinas, con un área de superficie de alrededor de $20 \text{ m}^2/\text{g}$, y un contenido de humedad de SiO_2 de aproximadamente 90%, la reactividad es muy alta. Por el tamaño muy pequeño de las partículas de microsílice, 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. Proporcionan 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 Producción de muestras para Ensayos

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 O GRAVA COVENIN	75 mm (3")	64 mm (2 ½ ")	50,8 mm (2")	38 mm (1 ½ ")	25,4 mm (1")	19 mm (3/4 ")	12,7 mm (1/2")	9,51 mm (3/8")	6,35 mm (1/4")	4,76 mm (Nº4)
Nº 0	-	-	-	-	-	100	100	85	60	40
							a	a	a	a
							80	50	25	15
Nº 1	-	-	-	100	100	90	45	20	7	-
					a	a	a	a	a	
					90	50	15	0	0	
Nº 2	-	-	100	90	70	30	10	5	-	-
			a	a	a	a	a	a		
			95	75	35	5	0	0		
Nº 3	100	100	95	60	10	5	-	-	-	-
		a	a	a	a	a				
		90	65	20	0	0				

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

⁴ Fuente: Norma COVENIN 277 “Concreto. Agregados. Requisitos”

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.

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 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.

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.

⁵ Fuente: Norma COVENIN 277 "Concreto. Agregados. Requisitos".

Esta humedad se encuentra en los agregados de dos maneras diferentes: una es rellenando 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 incorporara 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 El 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 Las 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 El proceso de 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 Resistencia a la 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 anomalías. 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 Resistencia a la tracción Indirecta

También conocido como Ensayo Brasileo, consiste en someter a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en la Norma COVENIN 338:2002, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de dos líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura.

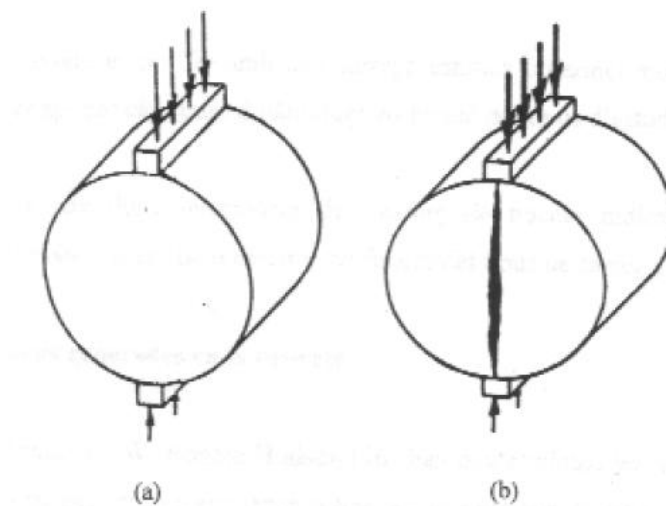


Imagen 1. Configuración de la carga (a) y rotura del ensayo de tracción indirecta (b).

La probeta es cargada a compresión según un plano diametral vertical de la misma. Para poder cargar la probeta a compresión en un plano diametral vertical, se requiere un dispositivo de sujeción de la probeta a través del cual se materialice dicho plano de carga. Como parte de este dispositivo, y en contacto directo con

dos generatrices diametralmente opuestas de la probeta, existen dos elementos encargados de evitar la rotura local de la probeta durante el ensayo. Se utilizan unas placas de apoyo curvo, con radio de curvatura igual al radio nominal de la probeta, de 12,7 o 25,4 mm de ancho, para que la distribución de tensiones no se altere significativamente, en lugar de un ancho de carga variable durante el ensayo, que ocurriría con una placa de carga plana.

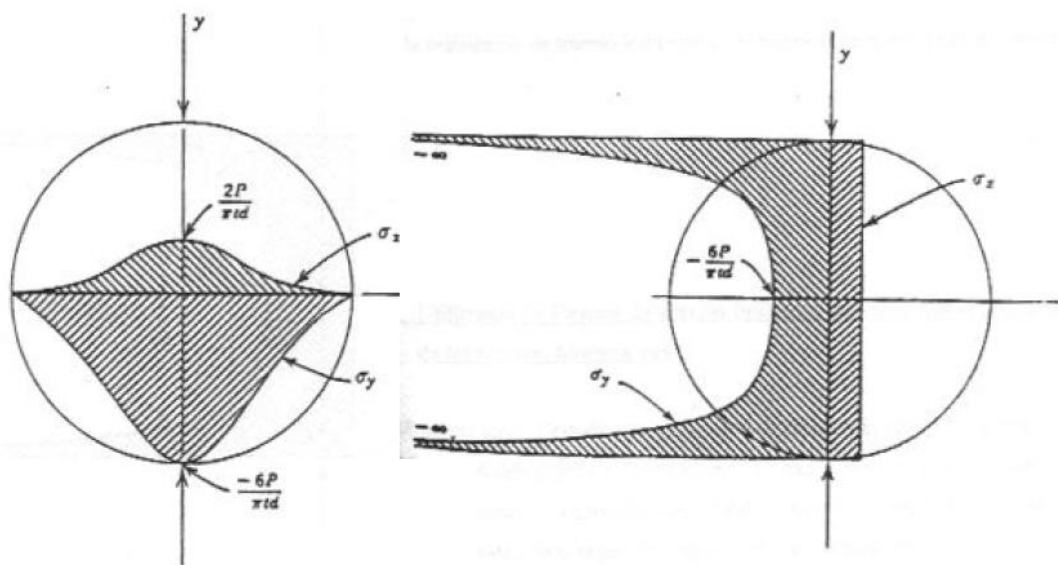


Imagen 2. Distribución de tensiones teórica sobre los planos diametral y vertical para el ensayo de tracción indirecta.

El ensayo debe ser ejecutado de acuerdo a lo establecido en la Norma COVENIN 341:1979. “*Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción indirecta del concreto usando probetas cilíndricas*”.

CAPITULO III:

MÉTODO

III.1 Aspectos Generales

La investigación que a continuación se desarrolla, se realiza bajo condiciones experimentales, debido a que mediante una metodología establecida, se estudia el comportamiento y evolución de una mezcla de concreto con la adición de un material fino, como el microsíllice, con el propósito e interés de modificar la resistencia alcanzada en condiciones normales, todo bajo la respuesta de dichos experimentos.

Para la realización del estudio, se realizaron ensayos a los agregados a utilizar en las mezclas, ensayos de ultrasonido, ensayos para medir la resistencia a compresión, y ensayos para medir la resistencia a la tracción indirecta, tomando como base la normativa venezolana (COVENIN) para la ejecución de todas las pruebas, con el propósito de identificar las variaciones o cambios en los valores arrojados en cada evaluación, propiciados por la presencia del microsíllice y así cuantificar y calificar las características de las mezclas de concreto.

Los ensayos y pruebas se practicaron a dos valores de resistencias, ambas consideradas, resistencias altas en el ámbito nacional, resistencias de 280 Kgf/cm² y 350 Kgf/cm², respectivamente, lo cual fue posible gracias a la elaboración de diseños de mezclas de acuerdo al método presentado en el “Manual del Concreto Estructural” (Porrero et al, 2004).

Todos los diseños se calcularon por dosificación en peso de sus componentes. Cabe destacar que los diseños de mezclas que incluían la presencia del microsíllice, se dosificaron de tres maneras; en la primera, se sustituyó el 10% de cemento por la misma cantidad en peso de microsíllice. La segunda, corresponde a la adición de microsíllice en una cantidad igual al 10% de

cemento presente en la mezcla original o patrón, siendo la tercera, la adición de microsilíce en una cantidad igual al 15% del cemento calculado.

La aplicación de las normas COVENIN en todos los ensayos fue primordial para la ejecución de los mismos, con lo que se garantiza la correcta aplicación de instrumentos, medidas y procedimientos, válidos para los procesos que se ejecutan en Venezuela. Los materiales e instrumentos más representativos que se utilizaron en la investigación se presentan en la siguiente tabla:

MATERIALES	HERRAMIENTAS	MAQUINARIA
Cemento Portland	Cono de Abrams	Mezcladora de 100 l
Agua	Moldes cilindricos	Horno de Secado
Piedra picada N°1	Cedazos	Generador de pulso
Arena lavada	Balanzas	Prensa de compresión
Microsilíce	Vernier	
Grasa para untar	Nivel de burbuja	
Marcadores		

Tabla 3. Materiales, herramientas y maquinaria empleada.

III.2 Método de Trabajo

III.2.1 Almacenamiento de agregados, cemento y microsilíce

Los agregados aplicados en las mezclas diseñadas, tanto el fino como el grueso fueron, arena lavada y piedra picada tamaño máximo 1", respectivamente, ambos fueron posicionados bajo techo y en paquetes plásticos.

El cemento se adquiere en sacos de 42,5 Kg y éste, al igual que la piedra y la arena, se ubicó sobre una paleta de madera, para prevenir la hidratación causada por cualquier líquido en contacto con el suelo (Ver Imagen 3). El microsíllice fue adquirido en una presentación de sacos de plástico de 15 Kg de capacidad; todos fueron resguardados en los talleres del Laboratorio de Mezclado del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).



Imagen 3. Almacenamiento del cemento y el microsíllice.

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”, en la cual se establece el procedimiento que consiste en pasar una muestra representativa del agregado, a través de cedazos de distintos tamaños, que

varían de $1\frac{1}{2}$ " hasta $\frac{1}{4}$ ", ordenados de mayor a menor. Para el caso de esta investigación, se procede a ensayar una muestra de 21.150 Kg.

Con los resultados de este ensayo se construyeron las tablas con las cuales pudo ser posible dibujar la curva granulométrica (*Porcentaje de pasantes contra Tamaño de partículas*). Los porcentajes de pasantes deben estar contenidos entre los valores establecidos por la norma (Ver Tabla 1).



Imagen 4. Agregados colocados en área de trabajo.

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 $\frac{3}{8}$ " al #200.

Al igual que con el agregado grueso, con los 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).

III.2.2.2 Porcentaje de humedad

La norma COVENIN 1375-79 “Método de ensayo para determinar por secado el contenido de humedad total y superficial del agregado”, se aplicó para la determinación del porcentaje de humedad, en la cual se establece el procedimiento que se debe seguir. Para ello se tomó una muestra de 4.000 g de agregado grueso, 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 500 g de agregado fino.

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 (H%) de la muestra de agregado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H = 100 \left(\frac{W_o - W_s}{W_s} \right)$$

Ecuación 1. Contenido de humedad del agregado fino o grueso

Donde:

H: Contenido de humedad de la muestra, en porcentaje

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

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

III.2.2.3 Densidad y porcentaje de absorción de los agregados

Dentro de los cálculos realizados se determinaron los porcentajes de absorción, densidad nominal y densidad aparente para los ambos tipos de agregados.

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

Este procedimiento contempla la determinación de la masa del agregado fino con superficie seca (A_{sss}), según el método indicado en la norma. Para ello se utilizó la muestra de agregado fino secada al horno a una temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ y previamente pesada con una balanza, se dejó enfriar y se sumergió en agua durante $(24 \pm 4)\text{h}$, luego de ese tiempo se extendió 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.

Posteriormente se procedió a la utilización del picnómetro, cuyo 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 determinó la masa del picnómetro con la muestra y el agua, así como también la masa del picnómetro con el agua.

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

Donde:

ρ_s : Densidad aparente de la muestra en g/ml

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 del agregado fino.

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 3. Densidad Nominal de la muestra de agregado fino.

Donde:

ρ : Densidad nominal en g/ml

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 4. Porcentaje de absorción de la muestra de agregado fino.

Donde:

A: Porcentaje de absorción de la muestra.

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.

Para la ejecución de este ensayo sobre el agregado grueso, se trabajó con una muestra de 5 Kg, y se llevó a cabo aplicando 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.

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

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

Donde:

ρ_s : Densidad aparente de la muestra en g/ml

M_2 : 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 6. Densidad Nominal de la muestra de agregado grueso.

Donde:

ρ_s : Densidad nominal de la muestra de agregado fino en g/ml

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

Una vez culminado el proceso de evaluación por ensayos al agregado, tanto fino como grueso, se procedió al diseño de las mezclas de concreto, el cual se realizó según lo establecido en el método que indica el “Manual del Concreto Estructural” (Porrero, 2004), en su capítulo VI, relativo a diseño de mezclas.

En primera instancia, el método descrito en este manual considera la estructura fundamental del diseño de mezclas, a saber; dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia, las cuales guardan una relación intrínseca a través de dos leyes, Ley de Abrams y Relación Triangular. Sin dejar de tomar en cuenta y con cuidado a otros factores tales como el tipo y tamaño máximo de los agregados, porcentaje de humedad y porcentaje de absorción.

Los valores de resistencia a compresión, que se desearon alcanzar a los 28 días fueron de 280 y 350 Kg/cm². Para poder lograr esta resistencia se estimó

una desviación estándar de 32 Kgf/cm², considerando que el control de calidad de la mezcla es bueno (Ver Tabla 4).

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 espaciamento 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 4. Desviación estándar en el diseño de mezcla según control de calidad de los agregados.⁶

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

El proceso experimental contempla el diseño de mezclas para dos valores de resistencias, 280 y 350 Kgf/cm², respectivamente, para cada tipo se diseñaron 4 mezclas, una mezcla “patrón”, designada con las siglas MP, que contempla los componentes de una mezcla sin aditivos y que sirvió de base para la ejecución de los otros 3 diseños. El segundo diseño, designado con las letras MS, corresponde a la dosificación del primero, pero sustituyendo el 10% del peso de cemento, por la misma cantidad en peso de microsílíce, manteniendo las cantidades en peso de piedra picada, arena lavada y agua, presentes en el diseño patrón y obteniendo un peso de cemento igual al 90% del mismo calculado para la muestra patrón. El tercer diseño, designado con las letras MA10, contempla la “adicción” de una cantidad igual al 10% del peso de cemento, de microsílíce, manteniendo los valores de todos los componentes de la muestra patrón. Y por último, el cuarto diseño, designado con las letras MA15, se realizó igual al tercero, pero adicionando una cantidad igual al 15% del peso del cemento, de microsílíce.



Imagen 5. Dosificación de componentes en peso. Indicador de la balanza empleada para el pesaje.

III.2.3.1 Relación Agua/Cemento

La siguiente variable a considerar de manera inmediata fue la relación agua/cemento, la cual se calculó mediante la aplicación de la Ley de Abrams, utilizando la siguiente ecuación:

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

Ecuación 7. Relación agua/cemento

Donde:

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

α : Relación agua/cemento

Es necesario destacar que esta variable se ve afectada debido a otros factores tales como el tipo y el tamaño máximo de los agregados, por lo que, se procedió a realizar las correcciones de la misma mediante la aplicación de los factores (K_r) para tamaño máximo y (K_a) para los tipos de agregados (Ver Tabla 5 y Tabla 6).

TAMAÑO MAXIMO	(1/4")	(3/8")	(1/2")	(3/4")	(1")	(1 1/2")	(2")	(2 1/2")	(3")
FACTOR K_r	1,60	1,30	1,10	1,05	1,00	0,91	0,82	0,78	0,74

Tabla 5. Factor de corrección (K_r) de la relación agua/cemento por tamaño máximo.⁷

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

GRUESOS	TRITURADOS	SEMITRITURADOS	CANTO RODADO
FINOS			
ARENA NATURAL	1,00	0,97	0,91
ARENA TRITURADA	1,40	1,10	0,93

Tabla 6. Factor de corrección (Ka) 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:

$$\alpha_c = \alpha * K_r * K_a$$

Ecuación 8. Relación agua/cemento corregida.

Donde:

α_c : Relación agua cemento corregida.

α : Relación agua cemento calculada.

K_r : Factor de corrección por tamaño máximo del agregado.

K_a : Factor de corrección por tamaño tipo de agregado.

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

III.2.3.2 Relación Triangular, cantidad cemento a utilizar.

Una vez conocida la relación agua/cemento a través de la Ley de Abrams, es posible conocer la cantidad de cemento a mezclar, para esto se utilizó la relación triangular, asumiendo un asentamiento de 7 centímetros. Esta relación se resume en la siguiente ecuación:

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

Ecuación 9. Relación triangular

Donde:

- C: Dosis de cemento en Kgf/m³.
- T: Asentamiento en cm.
- α : Relación agua/cemento.

Seguidamente 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 y el factor de corrección (C2) que depende del tipo de agregado (Ver Tabla 7 y Tabla 8).

TAMAÑO MAXIMO	(1/4")	(3/8")	(1/2")	(3/4")	(1")	(1 1/2")	(2")	(2 1/2")	(3")
FACTOR C ₁	1,33	1,20	1,14	1,05	1,00	0,93	0,88	0,85	0,82

Tabla 7. Factores de corrección de la cantidad de cemento por tamaño máximo de agregados.⁹

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

GRUESOS	TRITURADOS	SEMITRITURADOS	CANTO RODADO
FNOS			
ARENA NATURAL	1,00	0,93	0,90
ARENA TRITURADA	1,40	1,10	0,93

Tabla 8. Factores de corrección de la cantidad de cemento por tipo de agregados.¹⁰

Una vez determinados los factores de corrección, la cantidad de cemento corregido se calculó mediante la siguiente expresión:

$$C_c = C * C1 * C2$$

Ecuación 10. Cantidad de cemento corregida.

Donde:

C_c : Dosis de cemento corregida en Kgf/m^3 .

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

$C1$: 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

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

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:

$$V = \frac{C}{P}$$

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

Donde:

- V: Volumen de aire atrapado en m³.
- C: Cantidad de cemento en Kgf/m³.
- P: Tamaño máximo del agregado.

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

$$Ad = C * \alpha$$

Ecuación 12. Agua de Diseño

Donde:

Ad: Cantidad de agua en Kg/m³.

C: Cantidad de cemento en Kg/m³.

α : Relación agua cemento.

III.2.3.5 Volumen de los agregados.

Para determinar el volumen de los agregados que componen 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 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:

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

Ecuación 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 15 y la Ecuación 16 respectivamente.

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

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

Donde:

A: Peso del agregado fino en Kgf/m³.

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

β : Relación Beta de los agregados.

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

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

Donde:

G: Peso del agregado grueso en Kgf/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 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.

A_b : Absorción del agregado grueso.

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

Ecuación 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.

A_b : 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 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 necesaria para elaborar los cilindros estimados objetos a ensayar y evaluar. Se elaboraron diez (10) probetas cilíndricas y se considerando la elaboración de muestras adicionales para prever fallas en los ensayos, aunado al desperdicio que posiblemente puede obtenerse al manejar las mezclas, por lo que se estimó trabajar con un volumen de $0,09 \text{ m}^3$ por mezcla.

Para el caso de las mezclas con sustitución de cemento por microsilíce, se retiro el porcentaje del peso de cemento que se deseaba sustituir, en este caso 10%, y se agrego ese peso en microsilíce. Esto se hizo para las mezclas de 280 kgf/cm^2 y 350 kgf/cm^2 .

En el caso de las mezclas con adición de microsilíce, se agregó el porcentaje deseado de este material medido respecto al peso de cemento, los porcentajes adicionados fueron de 10% y 15%.

III.2.4 Mezclado

Se realizaron ocho (8) mezclas de concreto, dos (2) de ellas mezclas patrones, dos (2) con sustitución del 10% del peso de cemento por microsilíce y las otras cuatro (4) con adición del 10% y 15% del peso de cemento en cantidad de microsilíce, como ya se menciona anteriormente, para cada una de ellas se elaboraron diez (10) 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 (Ver Imagen 6).



Imagen 6. Mezcladora eléctrica empleada.



Imagen 7. Limpieza y engrase de moldes cilíndricos.

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. (Ver Imagen 7).
- 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 Imagen 5).
- c) Se añadió en la mezcladora, ya encendida, la totalidad del agregado grueso y fino, y se deja mezclar todo durante aproximadamente cinco minutos. (Ver imagen 8)
- 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.

f) En el caso de las mezclas con contenido de microsilíce, se agregó toda la cantidad de este material en conjunto con el cemento de mezclado.

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”.



Imagen 8. Mezclado en proceso.

En esta norma se establece la forma en 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 presionando las asas del mismo con los pies y se llenó hasta un tercio de su

altura, luego de esto se le propinaron 25 golpes con la barra, de 5/8 de pulgada (Ver imagen 9). 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 de cono truncado, se procedió a medir la diferencia de altura del concreto con respecto a la parte superior del molde y de esa forma se determino el asentamiento (Ver Imagen 10).



Imagen 9. Ensayo del Cono de Abrams.



Imagen 10. Asentamiento de una mezcla con adición de microsíllice.

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

Cada mezcla el concreto elaborado se vació en diez (10) 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”.



Imagen 11. Preparación y vaciado de probetas.

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 el mismo fragüe (Ver Imagen 7). Los moldes metálicos se llenaron en tres capas de igual espesor aproximadamente, siendo cada capa compactada por 25 golpes (similar al ensayo del cono de Abrams) con una barra normalizada de 16 mm de diámetro, 600 mm de longitud y de punta con forma semi-esférica de 8 mm de radio (Ver Imagen 11). 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 imagen 12).



Imagen 12. Elaboración de probetas.



Imagen 13. Desencofrado de probetas.

Luego de pasadas las 24 horas, se procedió a desencofrar las probetas cilíndricas (ver Imagen 13), 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 Imagen 14).



Imagen14. Piscina de curado de probetas.

III.2.6 Ensayos de las probetas de concreto

Se realizaron a las probetas de concreto ensayos de ultrasonido, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción indirecta para todas las muestras, ya sean patrones o con microsilíce.



Imagen 15. Instrumentos de medición y pesaje de probetas.

III.2.6.1 Ensayos de Ultrasonido

El ensayo de ultrasonido se hizo para dos probetas cilíndricas de 28 días de edad (Ver Tabla 9).

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".



Imagen 16. Instrumento para el ensayo de Ultrasonido.

El procedimiento consistió en instalar el equipo de medición y calibrarlo (Ver Imagen 16), luego se debieron engrasar los extremos superiores e inferiores del cilindro a ensayar, para esto 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 realizó para todas las mezclas y resistencias, según se observa en la siguiente tabla

:

RESISTENCIA	MUESTRA	EDAD (Días)	CANTIDAD DE PROBETAS
$f'c$ 280 Kg/cm ²	MP	28	2
	MS	28	2
	MA10	28	2
	MA15	28	2
$f'c$ 350 Kg/cm ²	MP	28	2
	MS	28	2
	MA10	28	2
	MA15	28	2

Tabla 9. Edades de Probetas para ultrasonido.

Las muestras MP son las patrones, las MS son las que tienen sustitución de 10% microsíllice y las MA10 y MA15 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 resultado de las que contienen microsíllice.

III.2.6.2 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 (Ver Imagen 15).



Imagen 17. Prensa para el ensayo de Resistencia a la Compresión.

El ensayo se realizó con la prensa de ensayos a compresión del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (Ver Imagen 17). 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 Kgf/cm²/s a 3,5 Kgf/cm²/s.

Los cilindros que se colocaron en la máquina de ensayo, se centraron cuidadosamente y se comprimieron hasta que fallaron. 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 (Ver Imagen 18).

Los cilindros se ensayaron a la edad prevista, con tolerancia de +/- t/14.



Imagen 18. Ensayo de Resistencia a la compresión en ejecución.

Los ensayos se realizaron según el siguiente programa:

RESISTENCIA	MUESTRA	EDAD (Días)	CANTIDAD DE PROBETAS
$f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$	MP	7	2
		14	2
		21	2
		28	2
	MS	7	2
		14	2
		21	2
		28	2
	MA10	7	2
		14	2
		21	2
		28	2
	MA15	7	2
		14	2
		21	2
		28	2
$f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$	MP	7	2
		14	2
		21	2
		28	2
	MS	7	2
		14	2
		21	2
		28	2
	MA10	7	2
		14	2
		21	2
		28	2
	MA15	7	2
		14	2
		21	2
		28	2

Tabla 10. Edades de Probetas para ensayo de Resistencia a la Compresión.

III.2.6.3 Ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta

Este ensayo se aplicó a un juego de dos probetas por tipo de mezcla para los 28 días de edad.

La metodología aplicada para el mismo corresponde a la descrita en la Norma COVENIN 341 “*Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción indirecta del concreto usando probetas cilíndricas*”.

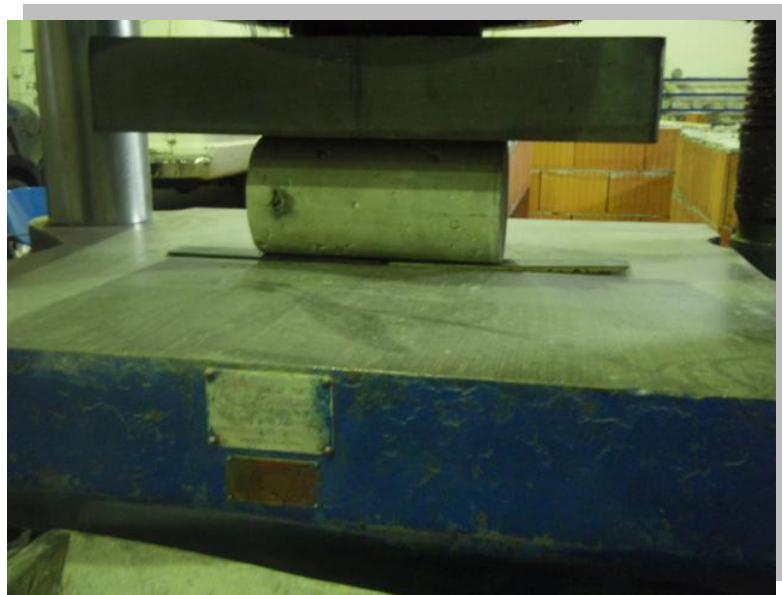


Imagen 19. Posición de la probeta para el ensayo Brasileo.

Para la ejecución de este ensayo en primer lugar se pesaron todas las probetas, en este caso 16 en total, y al igual que en el ensayo de resistencia a compresión, se midieron 3 diámetros y 3 longitudes de cada probeta para todas mezclas diseñadas (Ver imagen 15), para luego ser promediado por grupo de mezcla.

Seguidamente se procedió a marcar líneas diametrales en cada extremo de las probetas, esto con el fin de poder ubicarlas bien sobre el bloque de apoyo de la prensa.

A continuación se colocó una tira de contacto de neopreno en el centro de la base de apoyo de la prensa y luego sobre la tira de contacto se posicionó la probeta de manera que el centro longitudinal de la tira de contacto coincidiera con el plano longitudinal de la probeta que pasaba por las líneas diametrales dibujadas a cada extremo. La colocación de la tira de contacto superior se efectuó a pulso y gradualmente al posicionamiento sobre ella del bloque de apoyo superior de la prensa, mediante el mecanismo eléctrico de la última.

Se verificó que la velocidad del ensayo estuviese dentro del parámetro que establece la norma y se procedió a ensayar la probeta hasta su falla. El procedimiento desde la colocación de la tira de contacto en la base inferior de la probeta hasta la falla de la misma se aplicó para las 15 probetas restantes, tal como se indica en la siguiente tabla:

RESISTENCIA	MUESTRA	EDAD (Días)	CANTIDAD DE PROBETAS
f_c 280 Kg/cm ²	MP	28	2
	MS	28	2
	MA10	28	2
	MA15	28	2
f_c 350 Kg/cm ²	MP	28	2
	MS	28	2
	MA10	28	2
	MA15	28	2

Tabla 11. Edades de Probetas para ensayo Brasileiro o de Tracción Indirecta.



Imagen 20. Falla de la probeta luego del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta.

CAPITULO IV:

RESULTADOS

IV.1 Análisis de los agregados

IV.1.1 Granulometría

IV.1.1.1 Granulometría del agregado grueso.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del ensayo de granulometría realizado al agregado grueso, donde se detallan los porcentajes de pasantes y los límites granulométricos para cada cedazo. En nuestro caso de estudio el material aplicado fue piedra picada tamaño máximo 1”.

PESO LAVADO + BANDEJA (Kg)	21,24
PESO LAVADO (Kg)	21,15
PESO BANDEJA (Kg)	0,09

Tabla 12. Pesos de Agregado Grueso y Bandeja.

CEDAZO	PESO (Kg)	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE PASANTE	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
1 1/2"	-	-	-	-	-	-
1"	1,95	9,22	9,22	90,78	100	90
3/4"	4,95	23,40	32,62	67,38	90	50
1/2"	8,95	42,32	74,94	25,06	45	15
3/8"	2,35	11,11	86,05	13,95	20	0
1/4"	1,21	5,72	91,77	8,23	7	0
4	1,05	4,96	96,74	3,26	-	-
200	0,69	3,26	100	0,00	-	-

Tabla 13. Resultados del Ensayo Granulométrico del Agregado Grueso.

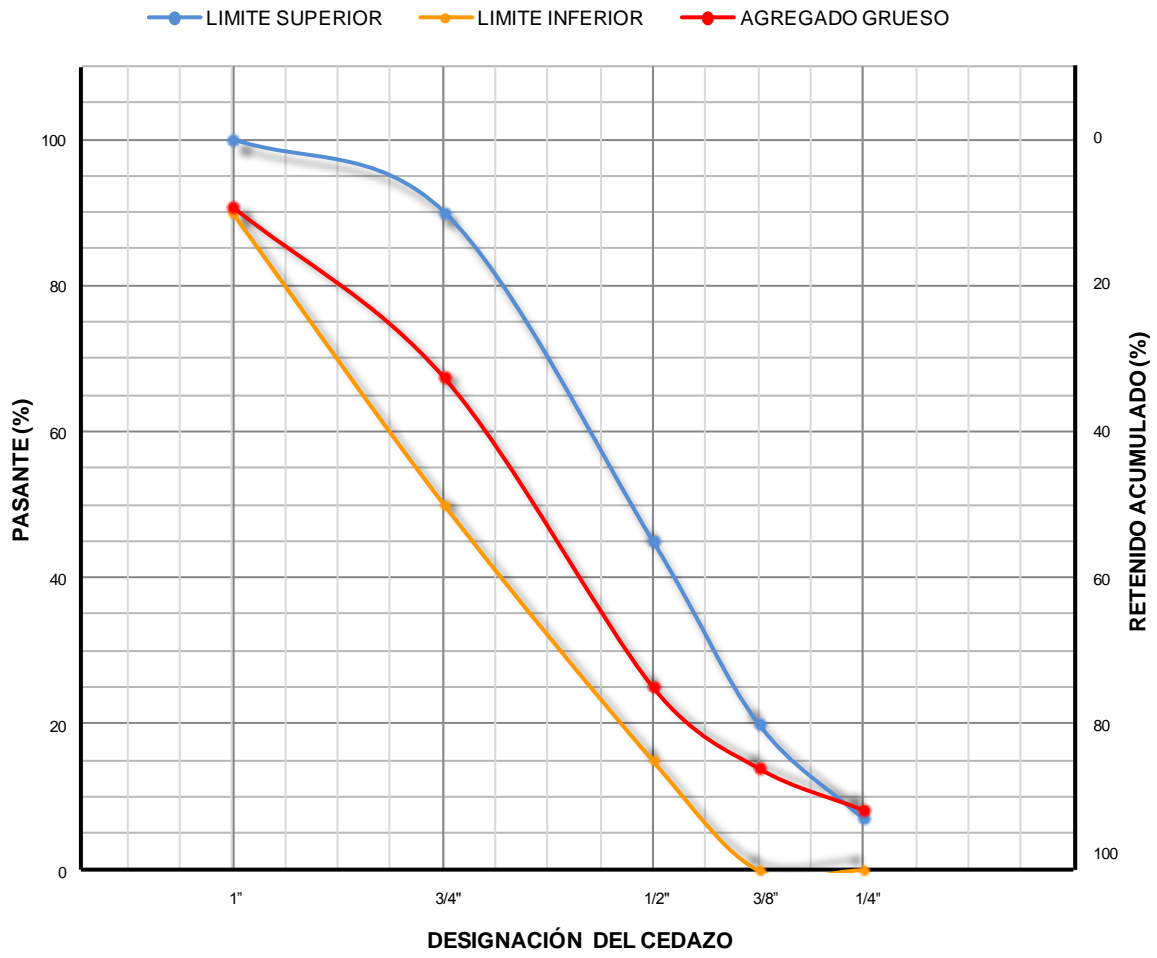


Gráfico 1. Curva Granulométrica para el Agregado Grueso.

IV.1.1.2 Granulometría del agregado fino.

Al igual que en el punto anterior, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de granulometría realizado al agregado fino, donde se detallan los porcentajes de pasantes y los límites granulométricos para cada cedazo. En nuestro caso de estudio el material aplicado fue arena lavada.

PESO LAVADO + BANDEJA (Kg)	0,690
PESO LAVADO (Kg)	0,500
PESO BANDEJA (Kg)	0,190

Tabla 14. Pesos de Agregado Fino y Bandeja.

CEDAZO	PESO (Kg)	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE PASANTE	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
3/8"	-	-	-	-	100	100
1/4"	0	0	0	100	100	100
4	106,4	21,28	21,28	78,72	85	100
8	56,1	11,22	32,5	67,5	60	95
16	74,2	14,84	47,34	52,66	40	80
30	79,3	15,86	63,2	36,8	20	60
50	88,9	17,78	80,98	19,02	8	30
100	61,9	12,38	93,36	6,64	2	10
200	29,6	5,92	99,28	0,72	0	5

Tabla 15. Resultados del Ensayo Granulométrico del agregado fino.

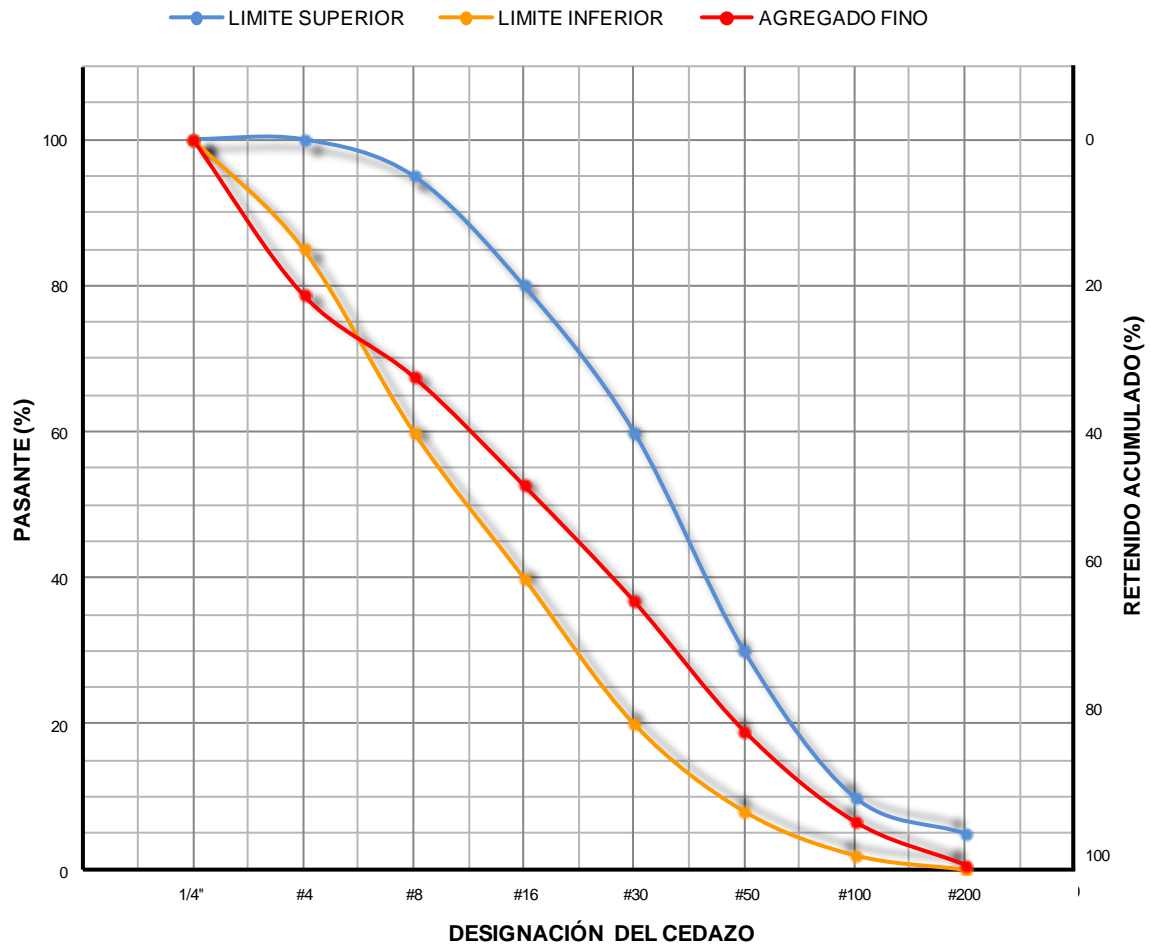


Gráfico 2. Curva Granulométrica para el Agregado Fino.

IV.1.2 Módulo de finura para agregado fino.

MODULO DE FINURA ARENA	3,38
------------------------	------

Tabla 16. Módulo de Finura para Agregado Fino.

IV.1.3 Porcentaje de humedad de los Agregados.

IV.1.3.1 Contenido de Humedad del Agregado Fino.

PESO AIRE MUESTRA HUMEDA (g)	500,00
PESO AIRE MUESTRA SECA (g)	467,50
PESO AGUA (g)	32,50
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6,95

Tabla 17. Porcentaje de Humedad presente en el Agregado Fino (Arena Natural).

IV.1.3.2 Contenido de Humedad del Agregado Grueso.

PESO AIRE MUESTRA HUMEDA (g)	4000,00
PESO AIRE MUESTRA SECA (g)	3965,60
PESO AGUA (g)	34,40
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0,87

Tabla 18. 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)	500,00
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECA (g)	484,90
PICNOMETRO CON AGUA (g)	1275,80
PICNOMETRO + AGUA + MATERIAL (g)	1582,50

Tabla 19. Pesos de la Muestra de Agregado Fino.

ABSORCIÓN (%)	3,11
DENSIDAD NOMINAL (g/ml)	2,72
DENSIDAD APARENTE (g/ml)	2,59

Tabla 20. 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)	5.000,00
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECA (g)	4964,40
PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (g)	3150,00

Tabla 21. Pesos de la Muestra de Agregado Grueso.

ABSORCIÓN (%)	0,72
DENSIDAD NOMINAL (g/ml)	2,76
DENSIDAD APARENTE (g/ml)	2,74

Tabla 22. 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 microsíllice, las dosificaciones se presentan a continuación.

IV.2.1 Diseño de mezcla para la Muestra Patrón con $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

VOLUMEN REQUERIDO (m^3)		0,09
ASENTAMIENTO ESPERADO (cm)		7
MATERIAL	Kg/m^3	Peso Requerido (Kg)
ARENA	748,20	67,30
PIEDRA	891,80	80,30
CEMENTO	516,50	46,50
AGUA	200,70	18,10
MICROSILICE	0,00	0,00

Tabla 23. Diseño de Mezcla para Muestra Patrón MP (280 Kg/cm^2).

IV.2.2 Diseño de mezcla para la Muestra con Sustitución del 10% de cemento por microsílíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$

VOLUMEN REQUERIDO (m ³)		0,09
ASENTAMIENTO ESPERADO (cm)		7
MATERIAL	Kg/m ³	Peso Requerido (Kg)
ARENA	748,20	67,30
PIEDRA	891,80	80,30
CEMENTO	464,85	41,85
AGUA	200,70	18,10
MICROSILICE	51,65	4,65

Tabla 24. Diseño de Mezcla para Muestra MS (280 Kgf/cm²).

IV.2.3 Diseño de mezcla para la Muestra con Adición del 10% de microsílíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$

VOLUMEN REQUERIDO (m ³)		0,09
ASENTAMIENTO ESPERADO (cm)		7
MATERIAL	Kg/m ³	Peso Requerido (Kg)
ARENA	696,55	62,65
PIEDRA	891,80	80,30
CEMENTO	516,50	46,50
AGUA	200,70	18,10
MICROSILICE	51,65	4,65

Tabla 25. Diseño de Mezcla para Muestra MA10 (280 Kgf/cm²).

IV.2.4 Diseño de mezcla para la Muestra con Adición del 15% de microsilíce y $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

VOLUMEN REQUERIDO (m^3)		0,09
ASENTAMIENTO ESPERADO (cm)		7
MATERIAL	Kg/m^3	Peso Requerido (Kg)
ARENA	670,72	60,33
PIEDRA	891,80	80,30
CEMENTO	516,50	46,50
AGUA	200,70	18,10
MICROSILICE	77,48	6,98

Tabla 26. Diseño de Mezcla para Muestra MA15 (280 Kg/cm^2).

IV.2.5 Diseño de mezcla para la Muestra Patrón con $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$

VOLUMEN REQUERIDO (m^3)		0,09
ASENTAMIENTO ESPERADO (cm)		7
MATERIAL	Kg/m^3	Peso Requerido (Kg)
ARENA	661,70	59,60
PIEDRA	788,70	71,00
CEMENTO	684,30	61,60
AGUA	215,80	19,40
MICROSILICE	0,00	0,00

Tabla 27. Diseño de Mezcla para Muestra Patrón MP (350 Kg/cm^2).

IV.2.6 Diseño de mezcla para la Muestra con Sustitución del 10% de cemento por microsílíce y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$

VOLUMEN REQUERIDO (m^3)		0,09
ASENTAMIENTO ESPERADO (cm)		7
MATERIAL	Kg/m^3	Peso Requerido (Kg)
ARENA	661,70	59,60
PIEDRA	788,70	71,00
CEMENTO	615,90	55,40
AGUA	215,80	19,40
MICROSILICE	68,40	6,16

Tabla 28. Diseño de Mezcla para Muestra MS (350 Kgf/cm^2).

IV.2.7 Diseño de mezcla para la Muestra con Adición del 10% de microsílíce y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$

VOLUMEN REQUERIDO (m^3)		0,09
ASENTAMIENTO ESPERADO (cm)		7
MATERIAL	Kg/m^3	Peso Requerido (Kg)
ARENA	593,30	53,40
PIEDRA	788,70	71,00
CEMENTO	684,30	61,60
AGUA	215,80	19,40
MICROSILICE	68,40	6,16

Tabla 29. Diseño de Mezcla para Muestra MA10 (350 Kgf/cm^2).

IV.2.8 Diseño de mezcla para la Muestra con Adición del 15% de microsilíce y $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$

VOLUMEN REQUERIDO (m^3)		0,09
ASENTAMIENTO ESPERADO (cm)		7
MATERIAL	Kg/m^3	Peso Requerido (Kg)
ARENA	559,10	50,40
PIEDRA	788,70	71,00
CEMENTO	684,30	61,60
AGUA	215,80	19,40
MICROSILICE	102,70	9,24

Tabla 30. Diseño de Mezcla para Muestra MA15 (350 Kg/cm^2).

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 resistencia de 280 Kg/cm^2

TIPO DE MEZCLA	ASENTAMIENTO (cm)
MP	9,5
MS	7,0
MA10	3,5
MA15	3,0

Tabla 31. Asentamientos obtenidos en las mezclas diseñadas para resistencias de 280 Kg/cm^2 .

IV.3.2 Mezclas diseñadas para resistencia de 350 Kg/cm²

TIPO DE MEZCLA	ASENTAMIENTO (cm)
MP	11,0
MS	9,0
MA10	6,5
MA15	2,5

Tabla 32. Asentamientos obtenidos en las mezclas diseñadas para resistencias de 350 Kg/cm².

IV.4 Ensayo de Ultrasonido.

IV.4.1 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra Patrón con f'c=280 Kg/cm²

PROBETA	t (ms)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	77,2	7,72E-05	0,3009	3897,67
2	76,3	7,63E-05	0,3008	3942,33
V (m/s) PROMEDIO				3920,00

Tabla 33. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra Patrón MP (280 Kg/cm²) a los 28 días.

IV.4.2 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Sustitución del 10% de cemento por microsíllice y f'c=280 Kg/cm²

PROBETA	t (ms)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	78,6	7,86E-05	0,3020	3842,24
2	79,1	7,91E-05	0,3026	3825,54
V (m/s) PROMEDIO				3833,89

Tabla 34. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MS (280 Kg/cm²) a los 28 días.

IV.4.3 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Adición del 10% de microsilíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$

PROBETA	t (ms)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	80,6	8,06E-05	0,3030	3759,31
2	80,2	8,02E-05	0,3012	3755,61
V (m/s) PROMEDIO				3757,46

Tabla 35. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasonico para Muestra MA10 (280 Kgf/cm²) a los 28 días.

IV.4.4 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Adición del 15% de microsilíce y $f'c=280 \text{ Kgf/cm}^2$

PROBETA	t (ms)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	81,1	8,11E-05	0,3009	3710,23
2	80,9	8,09E-05	0,3010	3720,64
V (m/s) PROMEDIO				3715,44

Tabla 36. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasonico para Muestra MA15 (280 Kgf/cm²) a los 28 días.

IV.4.5. Ensayo de Ultrasonido para la Muestra Patrón con $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$

PROBETA	t (ms)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	68,4	6,84E-05	0,3009	4399,12
2	66,2	6,62E-05	0,3010	4546,83
V (m/s) PROMEDIO				4472,98

Tabla 37. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasonico para Muestra Patrón MP (350 Kgf/cm²) a los 28 días.

IV.4.6 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Sustitución del 10% de cemento por microsíllice y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$

PROBETA	t (ms)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	70,6	7,06E-05	0,3027	4287,54
2	68,9	6,89E-05	0,3019	4381,71
V (m/s) PROMEDIO				4334,62

Tabla 38. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MS (350 Kgf/cm²) a los 28 días.

IV.4.7 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Adición del 10% de microsíllice y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$

PROBETA	t (ms)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	69,1	6,91E-05	0,3016	4364,69
2	70,7	7,07E-05	0,3000	4243,28
V (m/s) PROMEDIO				4303,99

Tabla 39. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MA10 (350 Kgf/cm²) a los 28 días.

IV.4.8 Ensayo de Ultrasonido para la Muestra con Adición del 15% de microsíllice y $f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$

PROBETA	t (ms)	t (s)	L (m)	V (m/s)
1	71,7	7,17E-05	0,3004	4189,68
2	70,6	7,06E-05	0,2994	4240,79
V (m/s) PROMEDIO				4215,24

Tabla 40. Resultados del ensayo de Pulso Ultrasónico para Muestra MA15 (350 Kgf/cm²) a los 28 días.

IV.4.9 Relación de homogeneidad entre las muestras patrones y las muestras con contenido de microsíllice para cada tipo de resistencia.

En el siguiente cuadro se presenta la relación que existe entre las muestras con contenido de microsíllice 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 microsíllice a una muestra patrón.

MUESTRA	DISEÑO 280 Kgf/cm ²		DISEÑO 350 Kgf/cm ²	
	V (m/s)	RELACION CON MEZCLA PATRON	V (m/s)	RELACION CON MEZCLA PATRON
MP	3920,00	-	4472,98	-
MS	3833,89	97,80%	4334,62	96,91%
MA10	3757,46	95,85%	4303,99	96,22%
MA15	3715,44	94,78%	4215,24	94,24%

Tabla 41. Relación entre las velocidades de pulso ultrasónico de las muestras con contenido de microsíllice 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.

EDAD DEL CONCRETO (DÍAS)	PESOS UNITARIOS DISEÑO 280 Kgf/cm ² (Kg/m ³)			
	MP	MS	MA10	MA15
7	2352,18	2301,46	2318,87	2388,03
14	2344,83	2311,20	2340,52	2460,16
21	2354,37	2333,03	2427,44	2334,22
28	2312,26	2314,40	2429,73	2309,48
PROMEDIO	2340,91	2315,02	2379,14	2372,97

Tabla42. Valores de peso unitario para las mezclas con $f'c= 280 \text{ Kgf/cm}^2$ y a las diferentes edades.

EDAD DEL CONCRETO (DÍAS)	PESOS UNITARIOS DISEÑO 350 Kgf/cm ² (Kg/m ³)			
	MP	MS	MA10	MA15
7	2245,45	2344,77	2258,47	2221,41
14	2274,14	2332,01	2263,06	2156,14
21	2291,87	2358,00	2262,88	2114,61
28	2264,84	2321,30	2270,05	2194,54
PROMEDIO	2269,08	2339,02	2263,62	2171,67

Tabla 43. Valores de peso unitario para las mezclas con $f'c= 350 \text{ Kgf/cm}^2$ y a las diferentes edades.

IV.6 Resistencia a la Compresión

A continuación se presentan los resultados correspondientes al ensayo de resistencia a la compresión aplicado a las distintas mezclas diseñadas en el orden cronológico en cual se ensayan las probetas (distintas edades del concreto). Se destaca que este ensayo se realiza siguiendo los lineamientos que indica la Norma COVENIN 338-2002. En adición a ello, se presentan los gráficos correspondientes al comportamiento en el tiempo del desarrollo de la resistencia de cada mezcla, determinada por el valor medio de los esfuerzos obtenidos luego de la ejecución del citado ensayo.

IV.6.1 Resultados para la Muestra Patrón, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

Edad del Concreto: 7 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,516	14,93	14,93	30,01	30,04	38.200	218	78
		14,87		29,98				
		14,98		30,12				
2	12,356	14,95	15,02	30,03	30,00	34.200	193	69
		15,07		30,10				
		15,05		29,87				
PROMEDIO	12,436	14,98		30,02		36.200	206	73

Tabla 44. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c=280\text{Kg/cm}^2$) a los 7 días.

Edad del Concreto: 14 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,448	15,01	15,02	30,03	30,06	41.400	234	83
		15,10		30,09				
		14,95		30,07				
2	12,407	14,97	14,96	29,98	30,01	41.500	236	84
		14,98		30,01				
		14,92		30,05				
PROMEDIO	12,428	14,99		30,04		41.450	235	84

Tabla 45. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) a los 14 días.

Edad del Concreto: 21 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,397	14,97	14,93	30,05	30,09	48.100	275	98
		14,90		30,11				
		14,93		30,12				
2	12,598	15,01	15,06	30,03	30,01	46.300	260	93
		15,07		30,01				
		15,10		29,99				
PROMEDIO	12,498	15,00		30,05		47.200	267	95

Tabla 46. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) a los 21 días.

Edad del Concreto: 28 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,205	14,88	14,93	30,10	30,09	51.200	292	104
		14,93		30,11				
		14,98		30,07				
2	12,261	14,98	15,00	30,04	30,08	48.500	275	98
		15,01		30,10				
		15,00		30,09				
PROMEDIO	12,233	14,96		30,09		49.850	284	101

Tabla 47. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MP ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.

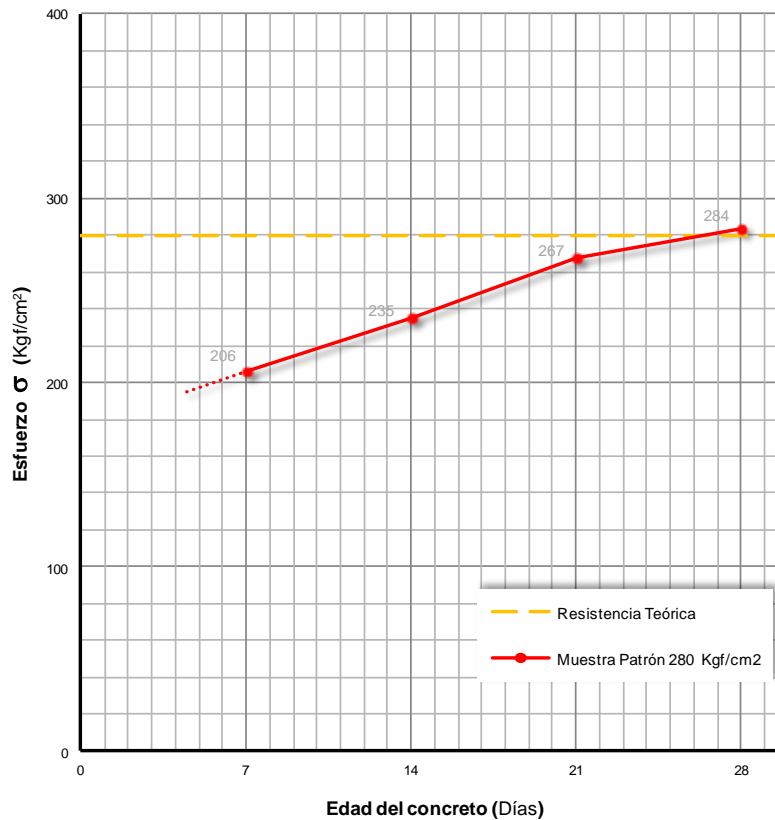


Gráfico 3. Comportamiento de la MP ($f'c = 280\text{Kgf/cm}^2$).

IV.6.2 Resultados para la Muestra MS $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con Sustitución de 10% de cemento por microsilíce

Edad del Concreto: 7 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,290	14,99	15,04	30,11	30,15	46.900	264	94
		15,03		30,15				
		15,10		30,20				
2	12,271	15,03	15,02	29,95	30,02	52.000	294	105
		14,98		30,07				
		15,00		30,03				
PROMEDIO	12,281	15,03		30,09		49.450	279	100

Tabla 48. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 7 días.

Edad del Concreto: 14 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,305	14,90	14,96	30,15	30,12	51.200	291	104
		15,01		30,12				
		14,98		30,10				
2	12,334	15,03	15,07	30,06	30,08	51.400	288	103
		15,07		30,10				
		15,10		30,09				
PROMEDIO	12,320	15,02		30,10		51.300	290	103

Tabla 49. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución los 14 días.

Edad del Concreto: 21 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,512	15,06	15,02	30,10	30,11	59.100	333	119
		15,01		30,13				
		15,00		30,11				
2	12,386	15,07	15,04	30,06	30,01	55.500	312	112
		15,10		29,98				
		14,96		29,99				
PROMEDIO	12,449	15,03		30,06		57.300	323	115

Tabla 50. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 21 días.

Edad del Concreto: 28 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,303	15,00	15,03	30,16	30,20	64.000	361	129
		15,04		30,23				
		15,06		30,20				
2	12,386	14,90	14,94	30,30	30,26	60.900	347	124
		14,98		30,28				
		14,95		30,21				
PROMEDIO	12,3445	14,99		30,23		62.450	354	126

Tabla 51. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MS ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución a los 28 días.

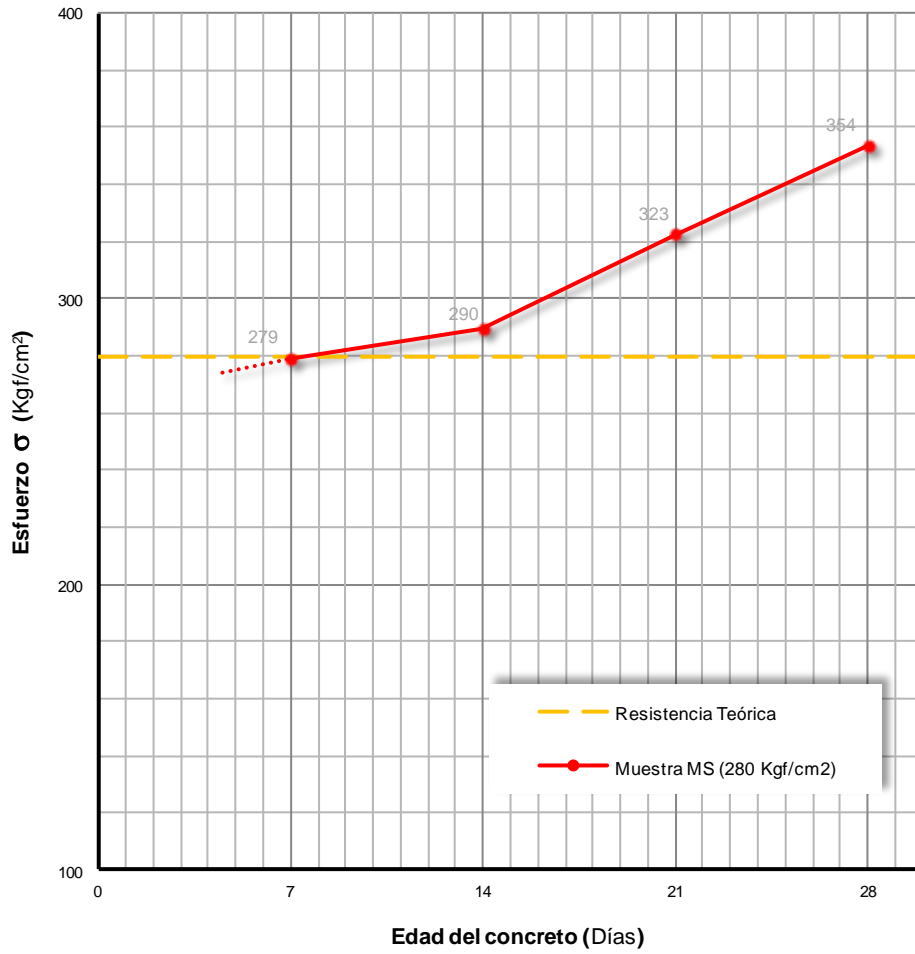


Gráfico 4. Comportamiento de MS ($f'_c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de sustitución.

IV.6.3 Resultados para la Muestra MA10 $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con Adición del 10% de microsilíce.

Edad del Concreto: 7 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,325	14,80	14,88	30,14	30,17	54.500	314	112
		14,93		30,16				
		14,90		30,20				
2	12,126	14,96	14,98	30,02	30,09	51.000	290	103
		15,02		30,15				
		14,95		30,10				
PROMEDIO	12,226	14,93		30,13		52.750	302	108

Tabla 52. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MA10 ($f'c=280\text{Kg/cm}^2$) con 10% de adición a los 7 días.

Edad del Concreto: 14 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,376	15,06	15,02	30,02	30,08	56.600	319	114
		14,98		30,13				
		15,02		30,08				
2	12,589	14,91	14,97	30,41	30,34	62.000	352	126
		14,99		30,27				
		15,00		30,33				
PROMEDIO	12,483	14,99		30,21		59.300	336	120

Tabla 53. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MA10 ($f'c=280\text{Kg/cm}^2$) con 10% de adición a los 14 días.

Edad del Concreto: 21 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,871	14,82	14,92	30,41	30,35	66.000	377	135
		15,00		30,35				
		14,95		30,28				
2	12,707	14,89	14,88	30,03	30,06	66.500	382	137
		14,83		30,09				
		14,93		30,05				
PROMEDIO	12,789	14,90		30,20		66.250	380	136

Tabla 54. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MA10 ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de adición a los 21 días.

Edad del Concreto: 28 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,840	14,99	14,98	30,30	30,30	72.700	413	147
		14,92		30,34				
		15,02		30,27				
2	12,709	14,76	14,79	30,10	30,12	71.900	418	149
		14,78		30,12				
		14,84		30,15				
PROMEDIO	12,775	14,89		30,21		72.300	415	148

Tabla 55. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de la MA10 ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) con 10% de adición a los 28 días.

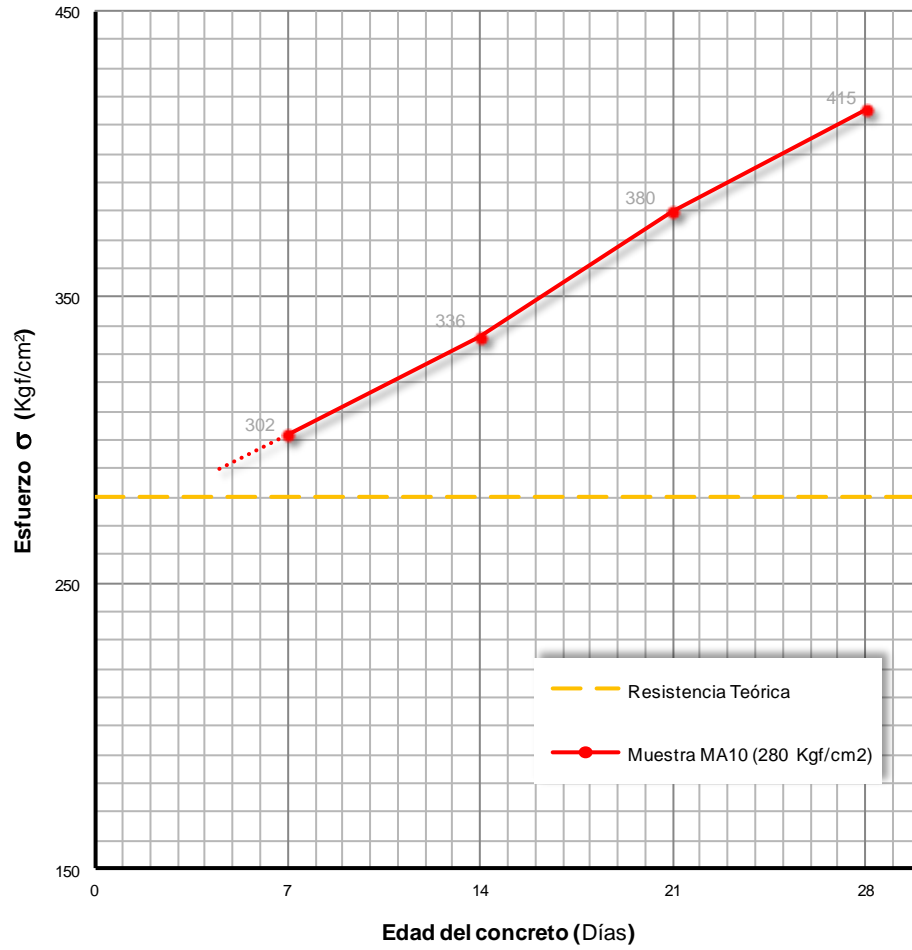


Gráfico 5. Comportamiento de MA10 ($f'_c=280$ Kgf/cm²) con 10% de adición.

IV.6.4 Resultados para la Muestra MA15 $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con Adición de 15% de microsilíce.

Edad del Concreto: 7 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,365	15,03	15,01	30,09	30,09	61.700	349	125
		15,00		30,05				
		14,99		30,12				
2	12,876	14,90	14,90	30,13	30,09	60.000	344	123
		14,95		30,03				
		14,86		30,10				
PROMEDIO	12,621	14,96		30,09		60.850	346	124

Tabla 56. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MA15 ($f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$) con 15% de adición a los 7 días.

Edad del Concreto: 14 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,987	14,90	14,97	30,15	30,14	65.900	375	134
		15,02		30,16				
		14,98		30,11				
2	13,125	15,00	14,98	30,10	30,14	64.600	367	131
		14,95		30,13				
		14,99		30,18				
PROMEDIO	13,056	14,97		30,14		65.250	371	132

Tabla 57. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MA15 ($f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$) con 15% de adición a los 14 días.

Edad del Concreto: 21 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,797	15,13	15,34	30,17	30,19	77.800	421	150
		15,92		30,20				
		14,98		30,21				
2	12,660	14,91	15,00	30,10	30,12	71.700	406	145
		15,02		30,15				
		15,08		30,11				
PROMEDIO	12,729	15,17		30,16		74.750	413	148

Tabla 58. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MA15 ($f'c=280$ Kgf/cm²) con 15% de adición a los 21 días.

Edad del Concreto: 28 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,523	15,04	14,99	30,18	30,23	78.700	446	159
		14,97		30,25				
		14,95		30,26				
2	12,598	15,22	15,27	30,30	30,30	76.200	416	149
		15,27		30,32				
		15,31		30,27				
PROMEDIO	12,5605	15,13		30,26		77.450	431	154

Tabla 59. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión de MA15 ($f'c=280$ Kgf/cm²) con 15% de adición a los 28 días.

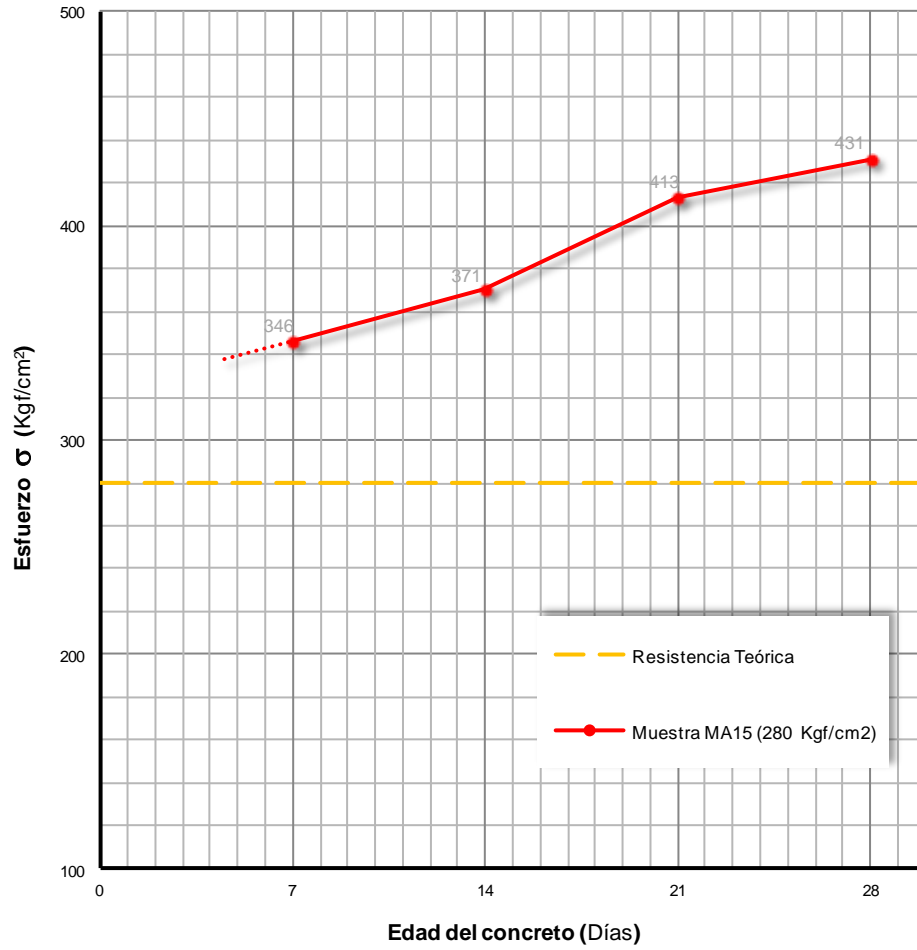


Gráfico 6. Comportamiento de MA15 ($f'_c=280$ Kgf/cm²) con 15% de adición.

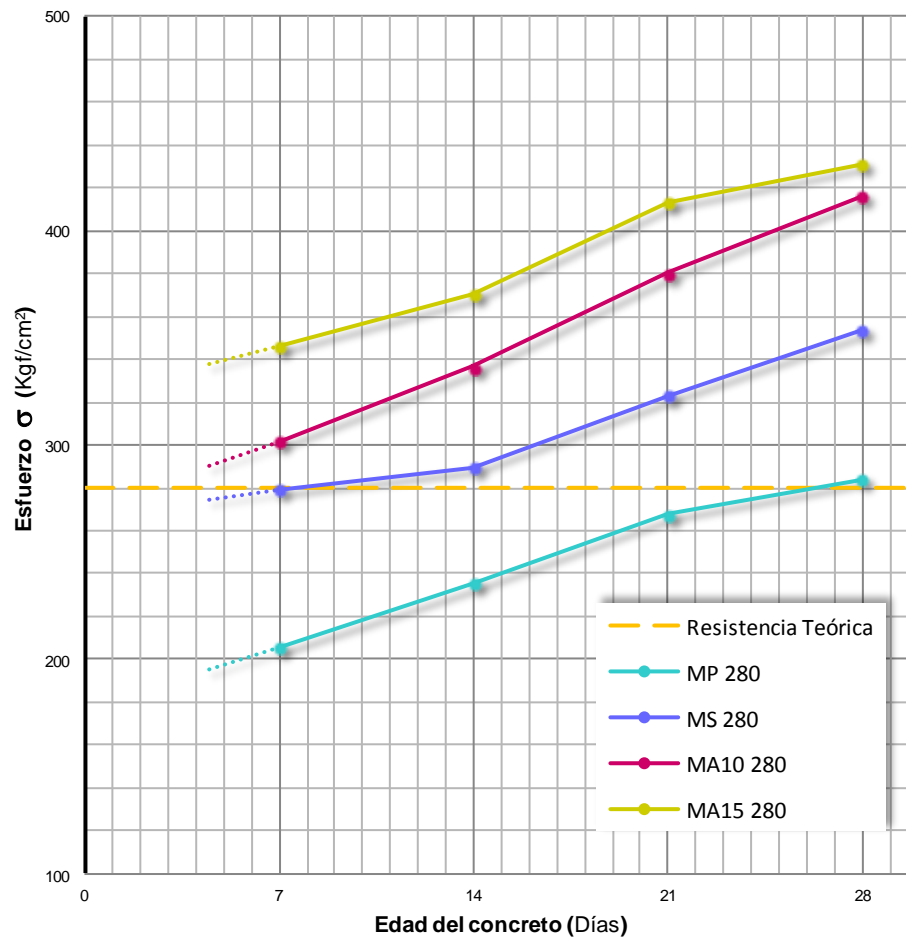


Gráfico 7. Comparación entre Muestras Patrones y Muestras con contenido de Microsílice (Para $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$).

IV.6.5 Resultados para la Muestra Patrón MP $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$

Edad del Concreto: 7 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,027	14,99	15,08	30,12	30,10	55.600	311	89
		15,12		30,09				
		15,14		30,10				
2	12,132	14,95	15,11	30,00	30,00	53.400	298	85
		15,18		29,98				
		15,20		30,03				
PROMEDIO	12,080	15,10		30,05		54.500	304	87

Tabla 60. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$) a los 7 días.

Edad del Concreto: 14 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,116	14,99	15,03	30,00	30,04	61.600	347	99
		15,01		30,09				
		15,09		30,03				
2	12,179	15,05	15,07	30,00	30,03	64.000	359	103
		15,04		30,03				
		15,11		30,05				
PROMEDIO	12,148	15,05		30,03		62.800	353	101

Tabla 61. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$) a los 14 días.

Edad del Concreto: 21 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,115	14,95	15,00	30,00	29,98	62.800	355	101
		15,03		29,95				
		15,03		29,99				
2	12,180	14,93	14,99	29,90	30,02	64.400	365	104
		14,99		30,07				
		15,06		30,09				
PROMEDIO	12,148	15,00		30,00		63.600	360	103

Tabla 62. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c=350$ Kgf/cm²) a los 21 días.

Edad del Concreto: 28 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,136	15,12	15,14	30,11	30,09	66.600	370	106
		15,10		30,10				
		15,19		30,05				
2	12,26	14,97	15,05	30,12	30,10	69.000	388	111
		15,07		30,10				
		15,12		30,09				
PROMEDIO	12,198	15,10		30,10		67.800	379	108

Tabla 63. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MP ($f'c=350$ Kgf/cm²) a los 28 días.

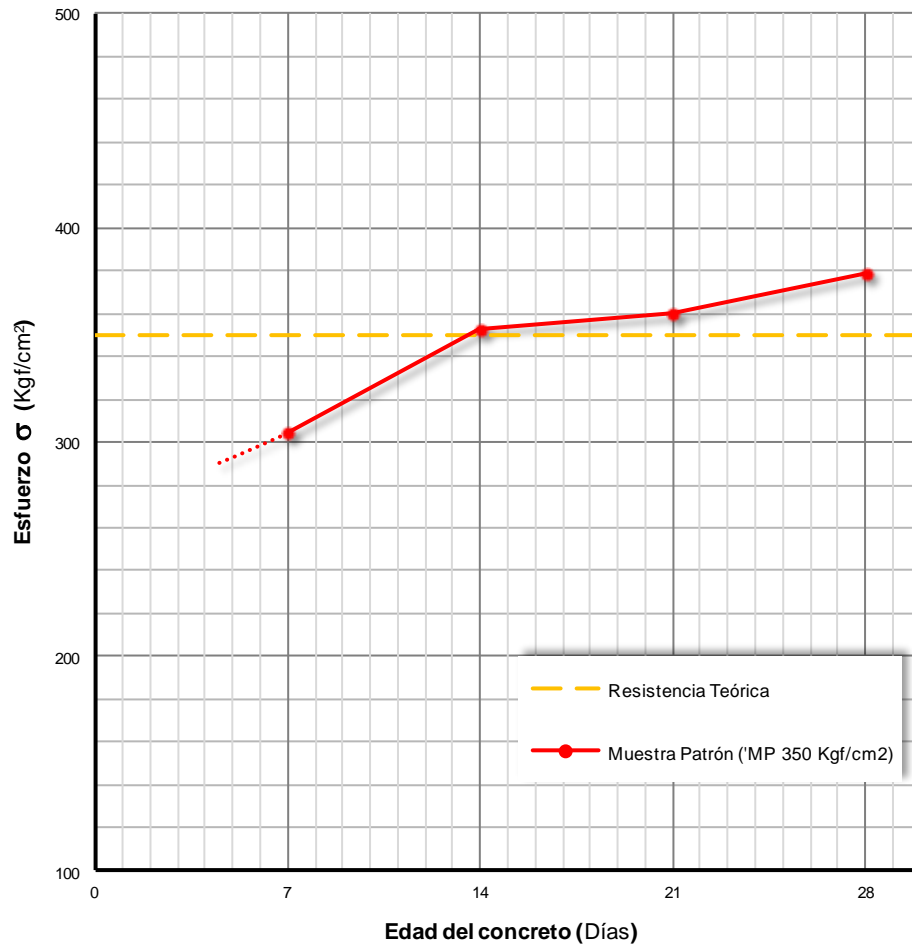


Gráfico 8. Comportamiento de MP ($f'_c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$).

IV.6.6 Resultados para la Muestra MS $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con Sustitución de 10% de cemento por microsilíce

Edad del Concreto: 7 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,581	14,94	15,05	30,08	30,08	63.200	355	102
		15,05		30,06				
		15,16		30,10				
2	12,623	14,93	15,06	30,30	30,30	59.400	333	95
		15,08		30,33				
		15,17		30,28				
PROMEDIO	12,602	15,06		30,19		61.300	344	98

Tabla 64. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MS ($f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$) con sustitución de 10% a los 7 días.

Edad del Concreto: 14 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,624	15,05	15,06	30,30	30,27	70.600	397	113
		15,04		30,22				
		15,08		30,29				
2	12,544	15,03	15,08	30,30	30,26	66.600	373	107
		15,05		30,29				
		15,15		30,20				
PROMEDIO	12,584	15,07		30,27		68.600	385	110

Tabla 65. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MS ($f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$) con sustitución de 10% a los 14 días.

Edad del Concreto: 21 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,636	14,92	15,00	30,20	30,18	70.800	401	114
		15,01		30,18				
		15,07		30,15				
2	12,581	14,94	15,01	30,30	30,29	68.000	384	110
		15,02		30,22				
		15,08		30,34				
PROMEDIO	12,609	15,01		30,23		69.400	392	112

Tabla 66. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MS ($f'c=350$ Kgf/cm²) con sustitución de 10% a los 21 días.

Edad del Concreto: 28 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,612	15,21	15,13	30,30	30,27	76.000	423	121
		15,08		30,23				
		15,09		30,29				
2	12,639	15,15	15,14	30,30	30,19	75.200	418	119
		15,18		30,07				
		15,10		30,20				
PROMEDIO	12,626	15,14		30,23		75.600	420	120

Tabla 67. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MS ($f'c=350$ Kgf/cm²) con sustitución de 10% a los 28 días.

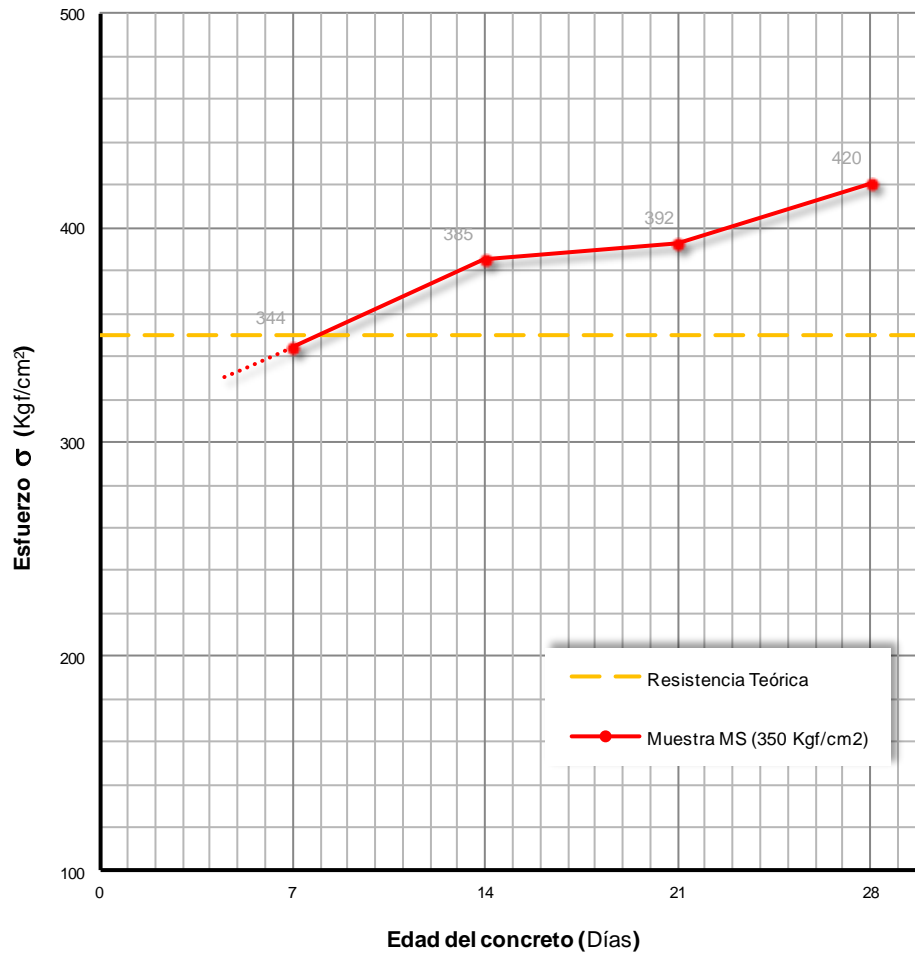


Gráfico 9. Comportamiento de MS ($f'_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$) con 10% de sustitución.

IV.6.7 Resultados para la Muestra MA10 $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$ con Adición de 10% de microsilíce

Edad del Concreto: 7 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,066	15,11	15,05	30,02	30,01	60.400	339	97
		15,03		29,95				
		15,02		30,06				
2	12,095	15,04	15,07	30,06	30,03	57.200	321	92
		15,08		30,08				
		15,09		29,96				
PROMEDIO	12,081	15,06		30,02		58.800	330	94

Tabla 68. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA10 ($f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$) con adición de 10% a los 7 días.

Edad del Concreto: 14 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	11,947	14,94	15,01	30,00	30,01	68.600	388	111
		15,04		30,02				
		15,05		30,02				
2	12,036	14,94	14,98	29,94	29,98	62.000	352	100
		15,05		30,01				
		14,96		30,00				
PROMEDIO	11,992	15,00		30,00		65.300	370	106

Tabla 69. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA10 ($f'c=350 \text{ Kgf/cm}^2$) con adición de 10% a los 14 días.

Edad del Concreto: 21 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,087	15,04	15,04	30,10	30,10	68.200	384	110
		15,03		30,11				
		15,04		30,10				
2	12,124	15,00	15,05	30,00	30,09	69.000	388	111
		15,07		30,20				
		15,08		30,08				
PROMEDIO	12,106	15,04		30,10		68.600	386	110

Tabla 70. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA10 ($f'c=350$ Kgf/cm²) con adición de 10% a los 21 días.

Edad del Concreto: 28 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	12,055	15,03	15,01	30,10	30,16	83.100	469	134
		15,02		30,20				
		14,99		30,17				
2	12,148	15,00	15,03	30,00	30,00	79.200	446	128
		15,03		29,99				
		15,06		30,02				
PROMEDIO	12,102	15,02		30,08		81.150	458	131

Tabla 71. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA10 ($f'c=350$ Kgf/cm²) con adición de 10% a los 28 días.

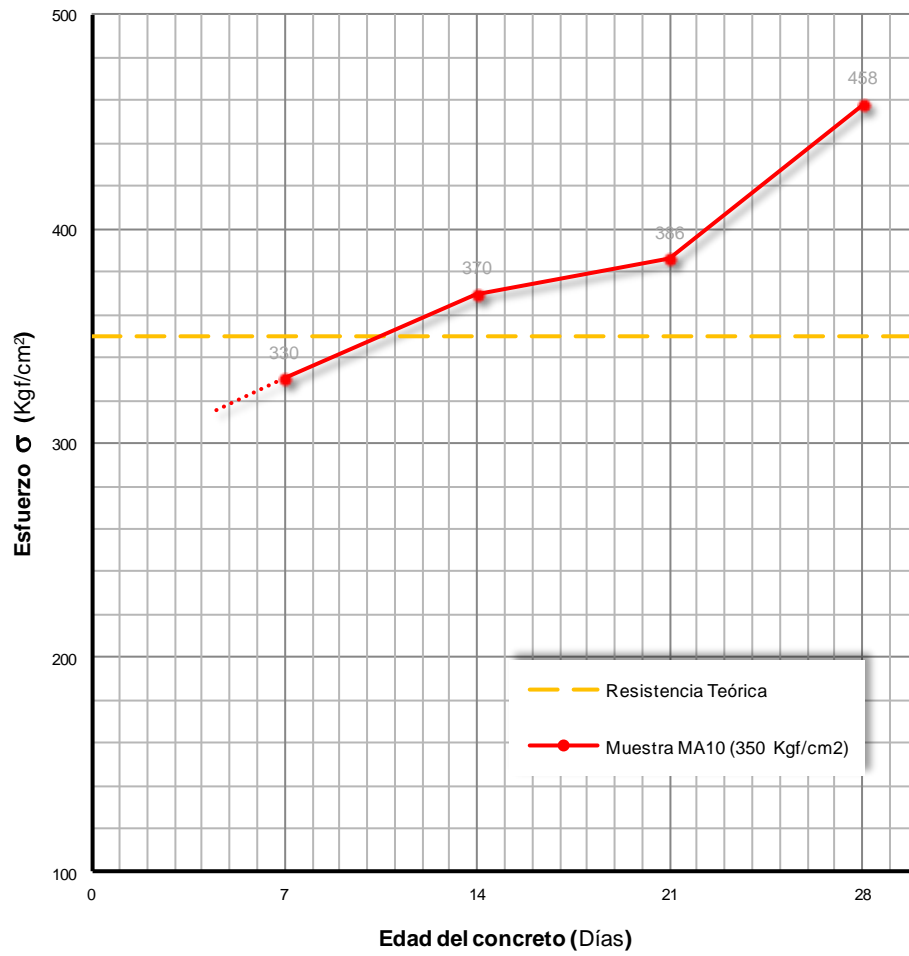


Gráfico 10. Comportamiento de MA10 ($f'_c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$) con 10% de adición.

IV.6.8 Resultados para la Muestra MA15 $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con Adición de 15% de microsilíce

Edad del Concreto: 7 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	11,994	15,03	15,08	29,98	30,10	51.200	287	82
		15,09		30,18				
		15,11		30,14				
2	11,847	15,06	15,06	30,10	30,10	58.400	328	94
		14,93		30,10				
		15,18		30,09				
PROMEDIO	11,921	15,07		30,10		54.800	307	88

Tabla 72. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA15 ($f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$) con adición de 15% a los 7 días.

Edad del Concreto: 14 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	11,608	15,02	15,01	30,10	30,09	60.900	344	98
		15,01		30,07				
		15,00		30,11				
2	11,406	15,01	15,04	30,10	30,09	58.700	330	94
		15,03		30,12				
		15,09		30,06				
PROMEDIO	11,507	15,03		30,09		59.800	337	96

Tabla 73. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA15 ($f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$) con adición de 15% a los 14 días.

Edad del Concreto: 21 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	10,604	14,98	14,93	29,70	29,91	63.900	365	104
		15,01		29,96				
		14,80		30,06				
2	11,938	15,00	15,13	30,20	30,16	67.200	374	107
		15,18		30,11				
		15,22		30,18				
PROMEDIO	11,271	15,03		30,04		65.550	369	106

Tabla74. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA15 ($f'c=350$ Kgf/cm²) con adición de 15% a los 21 días.

Edad del Concreto: 28 días

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	σ (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA (%)
1	11,829	15,04	15,06	30,00	30,04	71.600	402	115
		15,04		30,04				
		15,10		30,09				
2	11,543	14,96	15,01	29,93	29,94	72.400	409	117
		15,04		29,90				
		15,03		30,00				
PROMEDIO	11,686	15,04		29,99		72.000	406	116

Tabla 75. Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de la MA15 ($f'c=350$ Kgf/cm²) con adición de 15% a los 28 días.

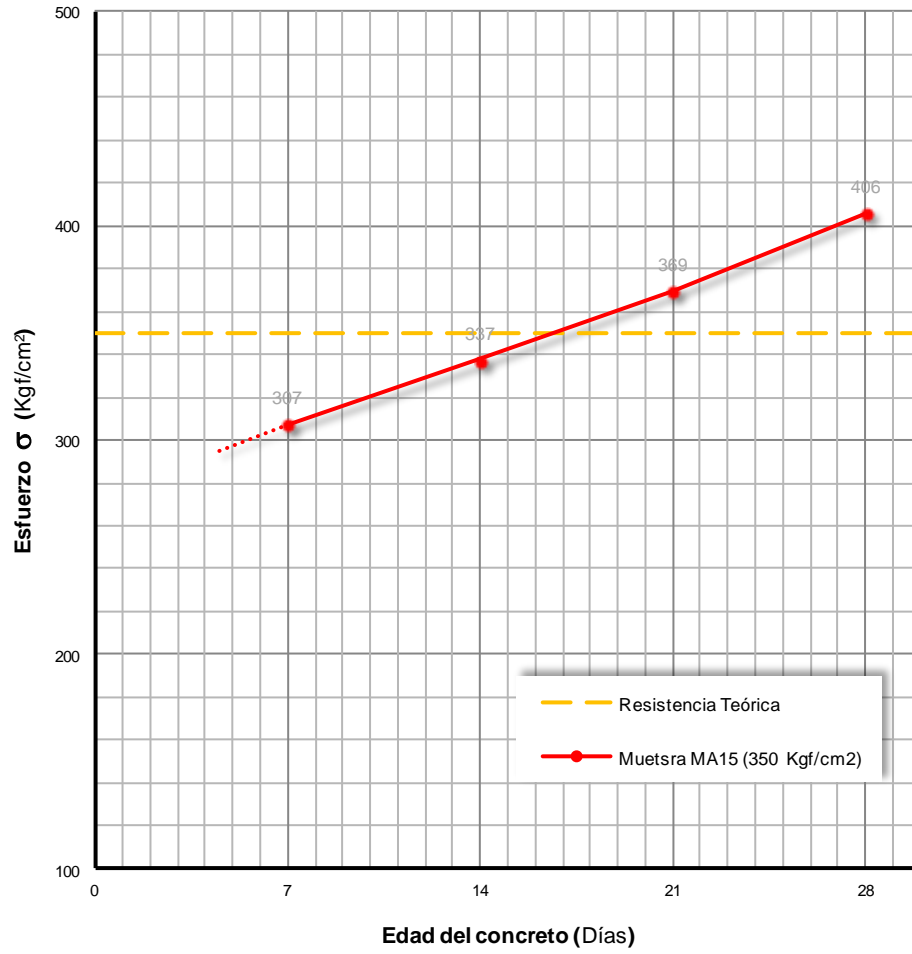


Gráfico 11. Comportamiento de MA15 ($f'_c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$) con 15% de adición.

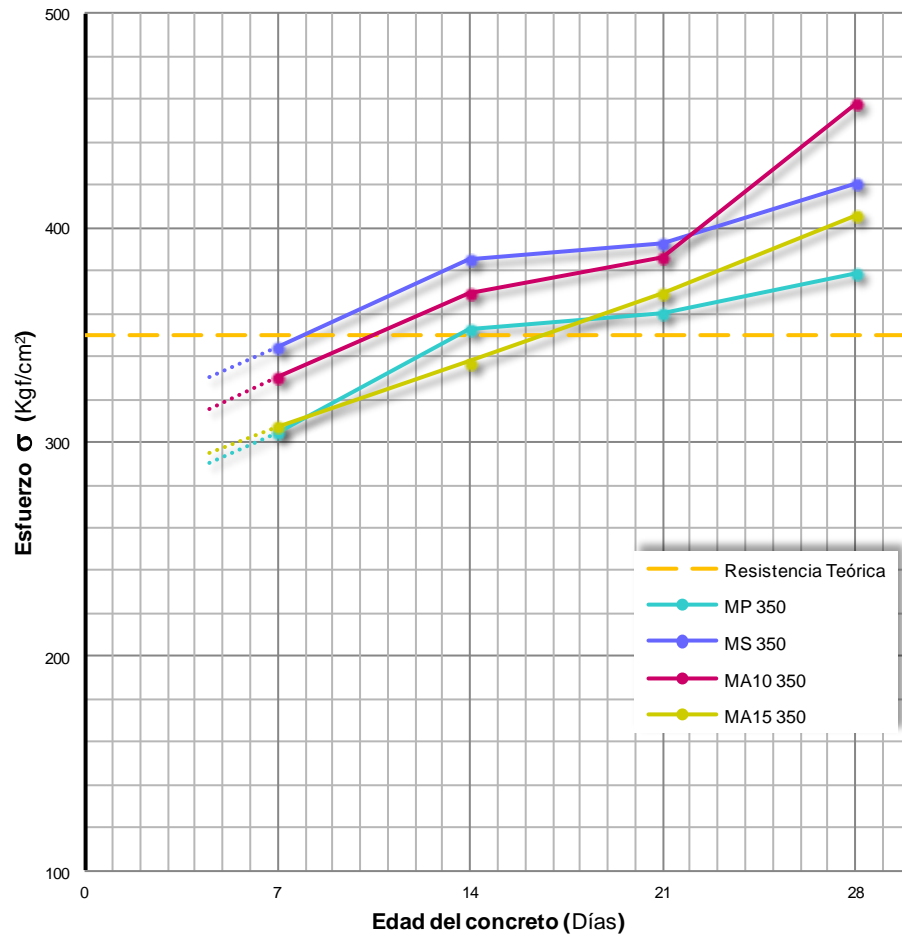


Gráfico 12. Comparación entre Muestras Patrones y Muestras con contenido de Microsilíce (Para 350 kgf/cm²).

IV.7 Resistencia a la Tracción Indirecta

A continuación se muestran los resultados obtenidos del ensayo de Tracción Indirecta, el cual se ejecutó siguiendo la Norma COVENIN 341, cuyos valores finales se expresaron como el valor medio de los esfuerzos individuales de cada probeta. Se anexa en cada tabla y al final un campo donde se expresa de manera porcentual la comparación del esfuerzo a tracción respecto a la resistencia a compresión “*alcanzada*” en cada tipo de mezcla a los 28 días de edad.

IV.7.1 Resultados para la Muestra Patrón, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	f_{ct} (Kg/cm ²)	RESISTENCIA ALCANZADA (%)
1	12,232	14,89	14,89	30,13	30,08	20.350	29	10
		14,93		30,09				
		14,85		30,01				
2	12,266	14,90	14,95	29,95	29,97	16.800	24	8
		15,00		29,99				
		14,96		29,96				
PROMEDIO	12,249	14,92		30,02		18.575	26	9

Tabla76. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MP ($f'c=280\text{Kg/cm}^2$) a los 28 días.

IV.7.2 Resultados para la MS, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsilíce

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	f_{ct} (Kg/cm ²)	RESISTENCIA ALCANZADA (%)
1	12,299	15,02	14,98	30,23	30,20	26.950	38	11
		14,98		30,16				
		14,93		30,20				
2	12,343	14,88	14,92	30,15	30,12	22.200	31	9
		14,93		30,11				
		14,95		30,09				
PROMEDIO	12,321	14,95		30,16		24.575	35	10

Tabla 77. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MS ($f'c=280\text{Kg/cm}^2$) a los 28 días.

IV.7.3 Resultados para la MA10, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con adición del 10% de microsilíce.

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	f_{ct} (Kg/cm ²)	RESISTENCIA ALCANZADA (%)
1	12,739	14,95	14,99	30,23	30,19	29.900	42	10
		14,98		30,20				
		15,03		30,15				
2	12,758	15,02	15,03	30,20	30,17	31.350	44	11
		15,01		30,18				
		15,05		30,12				
PROMEDIO	12,749	15,01		30,18		30.625	43	10

Tabla 78. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MA10 ($f'c=280\text{Kg/cm}^2$) a los 28 días.

IV.7.4 Resultados para la MA15, $f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 15% de microsilíce.

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	f_{ct} (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA ALCANZADA (%)
1	12,585	14,88	14,96	30,35	30,35	33.550	47	11
		15,01		30,29				
		14,98		30,40				
2	12,797	15,01	15,04	30,21	30,16	28.950	41	9
		15,00		30,17				
		15,10		30,09				
PROMEDIO	12,691	15,00		30,25		31.250	44	10

Tabla 79. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MA15 ($f'c=280\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.

IV.7.5 Resultados para la MP, $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	f_{ct} (Kgf/cm ²)	RESISTENCIA ALCANZADA (%)
1	12,144	14,90	15,00	30,10	30,33	25.050	35	9
		15,00		30,00				
		15,10		30,90				
2	12,198	14,89	14,98	29,95	30,02	23.250	33	9
		14,99		30,11				
		15,05		30,01				
PROMEDIO	12,171	15,00		30,33		24.150	34	9

Tabla 80. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MP ($f'c=350\text{Kgf/cm}^2$) a los 28 días.

IV.7.6 Resultados para la MS, $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsilíce

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	f_{ct} (Kg/cm ²)	RESISTENCIA ALCANZADA (%)
1	12,722	15,00	15,10	30,40	30,34	27.850	39	9
		15,10		30,33				
		15,20		30,30				
2	12,537	14,98	14,94	30,15	30,12	27.350	38	9
		14,89		30,10				
		14,96		30,12				
PROMEDIO	12,630	15,02		30,23		27.600	39	9

Tabla 81. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MS ($f'c=350\text{Kg/cm}^2$) a los 28 días.

IV.7.7 Resultados para la MA10, $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 10% de microsilíce

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	f_{ct} (Kg/cm ²)	RESISTENCIA ALCANZADA (%)
1	12,130	15,10	15,13	30,10	30,09	37.100	52	11
		15,20		30,13				
		15,10		30,05				
2	12,210	14,92	14,98	30,04	30,07	36.650	52	11
		15,03		30,10				
		15,00		30,06				
PROMEDIO	12,170	15,06		30,08		36.875	52	11

Tabla 82. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MA10 ($f'c=350\text{Kg/cm}^2$) a los 28 días.

IV.7.8 Resultados para la MA15, $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 15% de microsílíce

PROBETA	PESO (Kg)	DIAMETRO (cm)		ALTURA (cm)		CARGA (Kg)	f_{ct} (Kg/cm ²)	RESISTENCIA ALCANZADA (%)
1	11,968	15,00	15,00	30,30	30,30	39.000	55	14
		15,00		30,31				
		15,00		30,30				
2	11,888	15,02	15,03	29,97	30,00	32.050	45	11
		15,07		30,00				
		15,00		30,03				
PROMEDIO	11,928	15,02		30,15		35.525	50	12

Tabla 83. Resultados del ensayo de Resistencia a la Tracción Indirecta de la MA15 ($f'c=350\text{Kg/cm}^2$) a los 28 días.

IV.8 Estructura de Costos

En las tablas que se presentan a continuación se expresan los costos de la producción de concretos con contenido de microsílíce y concretos sin contenido de microsílíce. 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 microsílíce con una que no contenga este material.

IV.8.1 Costos de las muestra patrón MP con $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$

DESCRIPCION	UNIDAD	PESO/m ³ (Kg)	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	COSTO (Bs/m ³)
ARENA	m ³	748,20	0,275	250,00	68,77
PIEDRA PICADA	m ³	891,80	0,323	220,00	71,09
CEMENTO	Saco	516,50	12,153	20,00	243,06
AGUA	m ³	200,70	0,201	0,51	0,10
MICROSILICE	Saco	0,00	0,000	109,00	0,00
COSTO TOTAL					383,02

Tabla 84. Costos de elaboración de mezclas de concreto sin contenido de microsíllice obteniendo una resistencia a la compresión de 284 Kg/cm^2 a los 28 días.

IV.8.2 Costos de las muestra patrón MS, $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsíllice

DESCRIPCION	UNIDAD	PESO/m ³ (Kg)	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	COSTO (Bs/m ³)
ARENA	m ³	748,20	0,275	250,00	68,77
PIEDRA PICADA	m ³	891,80	0,323	220,00	71,09
CEMENTO	Saco	464,85	10,938	20,00	218,75
AGUA	m ³	200,70	0,201	0,51	0,10
MICROSILICE	Saco	51,65	3,443	109,00	375,32
COSTO TOTAL					734,03

Tabla 85. Costos de elaboración de mezclas de concreto con sustitución de 10% de cemento obteniendo una resistencia a la compresión de 323 Kg/cm^2 a los 28 días.

IV.8.3 Costos de las muestra patrón MA10 con $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 10% de microsílíce

DESCRIPCION	UNIDAD	PESO/m ³ (Kg)	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	COSTO (Bs/m ³)
ARENA	m ³	696,55	0,256	250,00	64,02
PIEDRA PICADA	m ³	891,80	0,323	220,00	71,09
CEMENTO	Saco	516,50	12,153	20,00	243,06
AGUA	m ³	200,70	0,201	0,51	0,10
MICROSILICE	Saco	51,65	3,443	109,00	375,32
COSTO TOTAL					753,59

Tabla 86. Costos de elaboración de mezclas de concreto con adición del 10 % de microsílíce obteniendo una resistencia a la compresión de 415 Kg/cm^2 a los 28 días.

IV.8.4 Costos de las muestra patrón MA15 con $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de 15% de microsílíce

DESCRIPCION	UNIDAD	PESO/m ³ (Kg)	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	COSTO (Bs/m ³)
ARENA	m ³	670,72	0,247	250,00	61,65
PIEDRA PICADA	m ³	891,80	0,323	220,00	71,09
CEMENTO	Saco	516,50	12,153	20,00	243,06
AGUA	m ³	200,70	0,201	0,51	0,10
MICROSILICE	Saco	77,48	5,165	109,00	563,02
COSTO TOTAL					938,92

Tabla 87. Costos de elaboración de mezclas de concreto adición del 15 % de microsílíce obteniendo una resistencia a la compresión de 431 Kg/cm^2 a los 28 días.

IV.8.5 Costos de las muestra patrón MP con $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$

DESCRIPCION	UNIDAD	PESO/m ³ (Kg)	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	COSTO (Bs/m ³)
ARENA	m ³	661,70	0,243	250,00	60,82
PIEDRA PICADA	m ³	788,70	0,286	220,00	62,87
CEMENTO	Saco	684,30	16,101	20,00	322,02
AGUA	m ³	215,80	0,216	0,51	0,11
MICROSILICE	Saco	0,00	0,000	109,00	0,00
COSTO TOTAL					445,82

Tabla 88. Costos de elaboración de mezclas de concreto sin contenido de microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 379 Kg/cm^2 a los 28 días.

IV.8.6 Costos de las muestra patrón MS, $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ con sustitución de 10% de cemento por microsilíce

DESCRIPCION	UNIDAD	PESO/m ³ (Kg)	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	COSTO (Bs/m ³)
ARENA	m ³	661,70	0,243	250,00	60,82
PIEDRA PICADA	m ³	788,70	0,286	220,00	62,87
CEMENTO	Saco	615,90	14,492	20,00	289,84
AGUA	m ³	215,80	0,216	0,51	0,11
MICROSILICE	Saco	68,40	4,560	109,00	497,04
COSTO TOTAL					910,67

Tabla 89. Costos de elaboración de mezclas de concreto con sustitución de 10% de cemento obteniendo una resistencia a la compresión de 420 Kg/cm^2 a los 28 días.

IV.8.7 Costos de las muestra patrón MA10 con $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 10% de microsilíce

DESCRIPCION	UNIDAD	PESO/m ³ (Kg)	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	COSTO (Bs/m ³)
ARENA	m ³	593,30	0,218	250,00	54,53
PIEDRA PICADA	m ³	788,70	0,286	220,00	62,87
CEMENTO	Saco	684,30	16,101	20,00	322,02
AGUA	m ³	215,80	0,216	0,51	0,11
MICROSILICE	Saco	68,40	4,560	109,00	497,04
COSTO TOTAL					936,57

Tabla 90. Costos de elaboración de mezclas de concreto con adición del 10 % de microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 458 Kgf/cm^2 a los 28 días.

IV.8.8 Costos de las muestra patrón MA15 con $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$ con adición de 15% de microsilíce

DESCRIPCION	UNIDAD	PESO/m ³ (Kg)	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	COSTO (Bs/m ³)
ARENA	m ³	559,10	0,206	250,00	51,39
PIEDRA PICADA	m ³	788,70	0,286	220,00	62,87
CEMENTO	Saco	684,30	16,101	20,00	322,02
AGUA	m ³	215,80	0,216	0,51	0,11
MICROSILICE	Saco	102,70	6,847	109,00	746,29
COSTO TOTAL					1.182,68

Tabla 91. Costos de elaboración de mezclas de concreto con adición del 15 % de microsilíce obteniendo una resistencia a la compresión de 406 Kgf/cm^2 a los 28 días.

IV.8.9 Comparación de costos de producción de concretos con contenido de microsilíce 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 microsilíce 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.

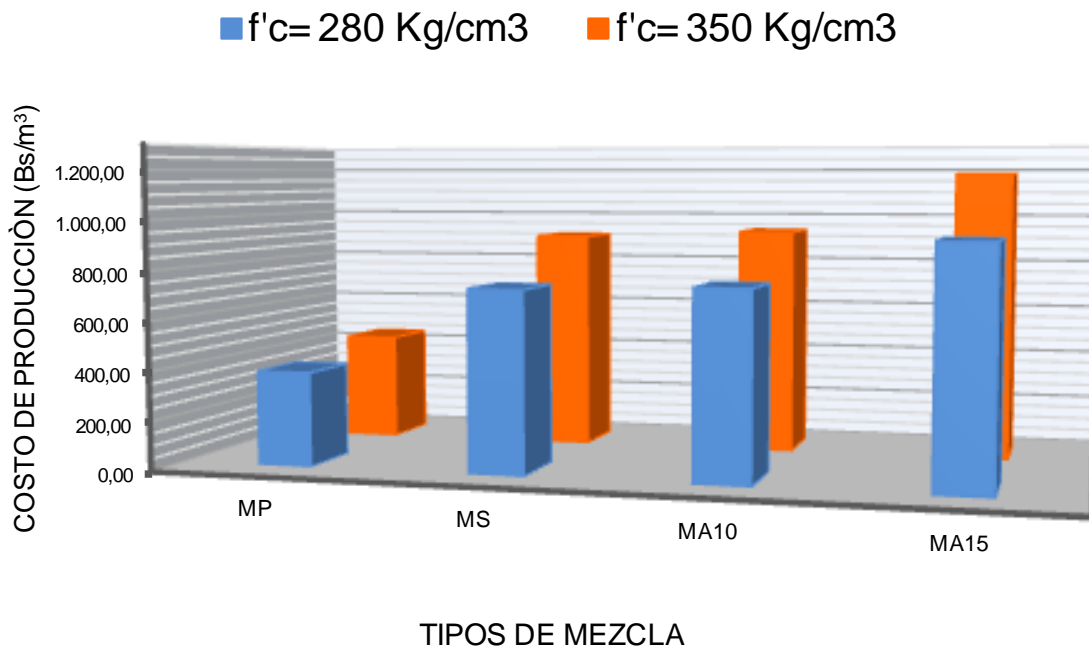


Gráfico 13. Comparación de Costos de producción de concretos con y sin contenido de microsilíce.

CAPITULO V:
ANALISIS DE LOS RESULTADOS

V.1 Granulometría

V.1.1 Agregado grueso

Luego de realizar el ensayo granulométrico al agregado grueso y de elaborar la curva granulométrica correspondiente, se puede constatar que el mismo presenta una gradación que satisface los límites establecidos en la Norma COVENIN 277-2000, exceptuando el porcentaje pasante del cedazo normalizado COVENIN ¼”, el cual presenta un exceso aproximado del 1,3% del límite establecido para ese cedazo (Ver gráfico 1). Si bien se evidencia un bajo incremento de agregado de menor tamaño, las características físicas y las gradación determinada en el ensayo de granulometría, la muestra indica que se puede trabajar con este material con un alto grado de aceptación para la producción de las probetas de concreto de alta resistencia diseñadas, o bien para la producción de concreto cuyo objetivo sea la evaluación del mismo.

V.1.2 Agregado fino

De manera similar al agregado grueso, al observar la curva granulométrica producto del ensayo efectuado al agregado fino, se confirma una buena gradación entre los cedazos normalizados COVENIN #8 y #200, sin embargo, existe un incremento del 6,8% de retenido, presente en el cedazo de mayor abertura, en este caso el cedazo #4, con lo cual la muestra deja de cumplir con lo estipulado en la Norma 277 (Ver gráfico 2).

El módulo de finura calculado para la muestra confirma la presencia de una arena gruesa, no compatible con el agregado que debe utilizarse para elaborar

concreto normalizado (Ver Tabla 16). Este módulo de finura para la arena valorado en 3,38 revela que el tamaño promedio del material se encuentra entre los cedazos #30 y #16. Basados en los valores obtenidos de esta granulometría y en la evaluación visual realizada al material, se determinó que la misma puede ser utilizada para la elaboración de las mezclas que son el interés de esta investigación.

V.2 Contenido de Humedad

V.2.1 Agregado grueso

El contenido de humedad obtenido para la piedra picada revela que este agregado no tendrá incidencia sobre el agua de diseño en las mezclas a elaborar, con ello se pronostica un comportamiento adecuado del mismo en esa dirección.

V.2.2 Agregado fino

Al utilizar arena lavada nacional, se evidencia un contenido de humedad como el obtenido, el mismo indica que la muestra no perdió humedad al momento de la manipulación desde el sitio de adquisición hasta el lugar de almacenamiento en los talleres del IMME, y aun así se toma en cuenta al momento de diseñar las mezclas para no afectar a la relación agua-cemento.

V.3 Densidad y Absorción

V.3.1 Agregado grueso

La pequeña diferencia entre los valores de densidad, a saber la aparente y la nominal, rápidamente da información de un agregado que, relativamente, es poco poroso, algo que puede confirmarse al obtener un porcentaje de absorción bajo, sin embargo, aceptable para que se den las condiciones de adherencia entre la pasta y la piedra una vez inmersas en la mezcla, y no se produzca un aumento considerable del volumen de la misma (Ver Tabla 20).

V.3.2 Agregado fino

Un 5% de del volumen total de la arena, corresponde a espacios saturables, es lo que de manera inmediata se puede apreciar del cálculo de las densidades, nominal y aparente. Es un valor favorable para garantizar una buena condición hidráulica entre los componentes de la mezcla. Adicionalmente se confirma lo obtenido en cuanto al contenido de humedad de este agregado (Ver Tabla 22).

V.4 Asentamiento de la mezcla. Cono de Abrams

Si bien este ensayo no proporciona información precisa de las propiedades de las mezclas, con los ensayos del Cono de Abrams practicado a cada una de las ellas se infiere en primer lugar que la presencia de microsíllice, como era de esperarse, disminuye la fluidez de la pasta (Ver Tabla 31 y Tabla 32). Este hecho se aprecia tanto en las mediciones de la mezcla de 280 Kgf/cm², como en la mezcla diseñada para 350 Kgf/cm², con lo cual queda confirmado el hecho de la afectación hidráulica que produce el microsíllice en la pasta del concreto.

En el diseño de todas las mezclas se contemplo un asentamiento igual a 7 cm, sin embargo, este valor solo se alcanzó para las muestras de concreto MS 280 Kgf/cm² y MA10 350 Kgf/cm², teniendo la primera un 10% menos cantidad de cemento que la segunda. Lo anterior no implica que se hayan preparado mezclas con distintas cantidades de agua, pero sí que hubo variaciones en la mecánica del agua en las distintas proporciones de cemento y agregados en cada dosificación de las mezclas.

Lo que queda evidenciado es la variación de la trabajabilidad de las pastas, la cual fue directamente proporcional a la cantidad de microsíllice presente en la misma. Sin embargo, no se observó segregación en el momento de manipular cada mezcla, en tanto se vaciaban dentro de las conchas cilíndricas.

V.5 Ensayo de Ultrasonido

Observando los resultados del ensayo del pulso ultrasónico, independientemente de las resistencias de diseño se evidencia una disminución en la velocidad de propagación de la onda ultrasónica. De lo anterior se infiere que al disminuir la trabajabilidad de la misma, la mezcla se hace menos homogénea, aun y cuando existe la presencia de finos, en este caso de la microsíllice. También se deduce que al incluir en la mezcla microsíllice, a medida que aumenta su cantidad en peso existe menos campo de acción del cemento y mayor la cantidad de aire atrapado en la mezcla, y este comportamiento se mantiene en la medida en que existe mayor presencia del aditivo en la pasta.

Se confirma que el microsíllice produce una consolidación no uniforme entre los componentes de la pasta, al tiempo que consume o actúa como agente absorbente de agua.

En relación a las resistencias de diseño, ambas muestran velocidades que oscilan entre 4.546,83 m/s y 3.710,23 m/s, valores que frecuentemente se obtienen en la práctica común (Ver Tabla 41).

Otro aspecto que define la regularidad de los resultados, es la buena elaboración de las probetas ensayadas, evidenciada en la similitud de los valores entre sí y que pone de manifiesto una compactación o vibración adecuada del concreto.

Las mezclas diseñadas para 350 Kgf/cm², presentan valores mayores de velocidad de propagación de las ondas que las mezclas diseñadas para 280 Kgf/cm², con lo que se comprueba que a medida que existe más pasta, menos espacios saturables, menos agua, más homogénea la mezcla.

Por último, en la comparación entre mezclas con igual resistencia de diseño, se detalla la relación porcentual con la que varían las velocidades de

propagación de las ondas, encontrándose que las mismas poseen tasas de disminución semejantes entre mezclas con resistencias de diseños diferentes, por lo que se puede considerar al hecho de la presencia del microsíllice como el principal modificador de esa característica en las mezclas de concreto.

V.6 Peso Unitario

Para las mezclas con resistencia de diseño igual a 280 Kgf/cm², se cuenta con un aumento significativo en el peso unitario en la medida que se adiciono microsíllice, es decir para las muestras tipo MA10 y MA15 (Ver Tabla 42). Para el caso de la muestra MS, en la cual hubo sustitución de cemento por microsíllice en una cantidad igual al 10% del peso de cemento en el diseño patrón ocurrió lo contrario a las mezclas donde se mantuvo la cantidad de cemento y se adicionó microsíllice. Es de esperarse, encontrar más peso en las muestras donde se adicionó microsíllice, ya que se mantuvo un volumen constante de las probetas, que están normalizadas, y se mezclaron componentes con pesos unitarios propios y diferentes. Este hecho confirma la diferencia existente entre los pesos unitarios del cemento y el microsíllice.

En el caso de las mezclas con resistencia de diseño igual a 350 Kgf/cm², se observa un estancamiento en cuanto al crecimiento del peso por adición, siendo estas mezclas las que contienen mayor cantidad en peso de componentes (Ver Tabla 43). Esto habla a su vez de la diferencia entre la homogeneidad de una mezcla respecto a la otra, también si se toma en cuenta el factor trabajabilidad del que se habló anteriormente y que revelo el ensayo del Cono de Abrams. Las mezclas de diseño con adición del 15% (MA15) son las mezclas que reflejaron menor relación agua-cemento y por ello menor trabajabilidad, resultando ser las

mezclas con menor facilidad de acomodo entre sus agregados pudiendo así generar más espacios vacíos y por ende menor peso.

V.7 Resistencia a la Compresión

En primer lugar, se observa que se logra de manera satisfactoria alcanzar las resistencias de diseño en las mezclas modelos o patrones (MP). Siendo éstas las bases de los diseños de las restantes seis mezclas para evaluar el comportamiento del microsíllice, se garantiza que se han empleado eficientemente los componentes de las mezclas y más aun que se han dosificado de manera correcta. La mezcla con resistencia de diseño más baja reporta a los 28 días un incremento de casi 2% respecto al esperado de manera teórica, a saber un esfuerzo promedio equivalente a 284 Kgf/cm^2 , mientras que la mayor de las resistencias de diseño, reporta un incremento de 8% respecto al calculado teóricamente, siendo este valor igual a 379 Kgf/cm^2 .

Con la presencia de microsíllice en las mezclas, indudablemente se modifica el comportamiento natural de las mismas con respecto al desarrollo de la resistencia a la compresión. Lo observado en el caso de sustitución parcial de cemento por microsíllice ratifica lo mencionado anteriormente, primero en el caso de la resistencia de diseño de 280 Kgf/cm^2 , donde se observa que ésta es casi alcanzada tan solo en los primeros 7 días de edad, a partir de los cuales es incrementada hasta llegar a un valor de 354 Kgf/cm^2 a los 28 días de edad (Ver gráfico 4), que a su vez representa un incremento del 26% respecto a la resistencia teórica (Ver Tabla 51) . Luego la mezcla de resistencia de diseño de 350 Kgf/cm^2 , mantiene el mismo comportamiento, alcanzando la resistencia teórica a los 7 días de edad y culminando a los 28 días con un valor de resistencia

igual a 420 Kgf/cm^2 , que se traduce en un incremento del 20% respecto a la resistencia de diseño (Ver gráfico 9 y Tabla 67).

Las mezclas de adición del 10% del peso de cemento en microsíllice, que mantienen la misma cantidad de cemento que el diseño patrón, revelan un mejor comportamiento. El valor de resistencia alcanzado por la muestra MA10 de 280 Kgf/cm^2 , a los 7 días de edad sobrepasa en un 8% al valor teórico y el mismo se incrementa hasta un valor de esfuerzo promedio de 415 Kgf/cm^2 (Ver gráfico 5), con un 48% de aumento tan solo a los 28 días de edad (Ver Tabla 55). La mezcla MA10 de 350 Kgf/cm^2 , del mismo modo reportó un aumento considerable cerrando con un 31% por encima del valor teórico, específicamente 458 Kgf/cm^2 de resistencia a los 28 días (Véase gráfico 10 y Tabla 71).

Cuando se observa el caso de adición del 15 % de microsíllice, se registra el mismo comportamiento de aumento de resistencia, pero no tan marcado en las mezcla de 350 Kgf/cm^2 . La muestra MA15 280 Kgf/cm^2 , registra un 54% de incremento respecto al valor teórico (véase Tabla 59), sin embargo, la muestra MA15 350 Kgf/cm^2 , alcanzó aumentar su resistencia en un 16% a los 28 días (véase gráfico 11 y Tabla 75).

En todo caso, los aumentos de resistencia experimentados son debido a la propiedad de las partículas de microsíllice de reaccionar con los productos de hidratación del concreto, generando cementantes secundarios que refuerzan el trabajo ejecutado por el cemento en sí, disminuyendo el campo de acción del agua y resultando en aumentos considerables de la resistencia.

Queda confirmada la acción potenciadora de la resistencia que posee el microsíllice sobre el concreto, aun cuando se trabaja con agregados que no se encuentran completamente tipificados como ideales para concretos normalizados.

La acción de sustituir el cemento por microsíllice, aun y cuando generó resultados positivos, no fue tan efectiva como la de adicionar un porcentaje del peso total del cemento sobre la base de los diseños patrones, sin importar la resistencia, en este caso “alta” para la cual se trabajó. Más efectivo aun es el comportamiento observado en las mezclas con adición del 10% que el observado en las mezclas con adición del 15% de microsíllice (Ver gráficos 7 y 12).

V.8 Resistencia a la Tracción Indirecta

La aplicación de este ensayo se realizó a una pareja de probetas de cada mezcla, para un total de 16 probetas tomadas al azar a los 28 días de edad. En ellos se observa una marcada tendencia a resistir la tracción entre el 9% y 12% de la resistencia a la compresión alcanzada por cada tipo de mezcla a los 28 días de edad (véase Tablas 76 a la 83). Es decir, que respecto a la resistencia de diseño todas las mezclas, resistieron la tracción en más del 9% de la resistencia a la compresión para la cual fueron diseñadas, en el entendido de que todas, incluyendo las mezclas modelos o patrones, sobrepasaron las resistencias de diseño.

Aun y cuando se dice que la presencia de finos disminuye la resistencia a la tracción, al comparar los valores de esfuerzo de tracción alcanzado por las mezclas con contenido de microsíllice y las que carecen de contenido de microsíllice, no se observan disminuciones en los valores de esfuerzo, por el

contrario, se mantiene la tendencia descrita en el párrafo anterior. De todas formas, no podemos indicar que exista una relación específica entre la resistencia a compresión y la resistencia a la tracción.

V.9 Estructura de costo

La elaboración de las mezclas para esta investigación se realizó con productos nacionales, incluyendo el microsíllice, adquiridos en la ciudad de Caracas, cuyos costos corresponden al tercer trimestre del año 2.011. La variación en los costos de producción para cada una de las mezclas realizadas viene dada directamente por la dosificación de los componentes en ella, en tanto varían con la modificación de las cantidades de cada uno de estos componentes. La influencia del costo de los agregados y el agua, sobre el costo total de la producción por metro cúbico de concreto, ya sea con contenido de microsíllice o no, es notoriamente pequeña, frente a la incidencia que tienen los costos del cemento y el microsíllice, respectivamente, para todos los casos estudiados.

Al analizar las mezclas de diseño con $f'c = 280 \text{ Kgf/cm}^2$, y partiendo del costo de la muestra patrón MP 280 Kgf/cm^2 de $383,00 \text{ Bs/m}^3$, se observa un aumento del 91,7% para la producción de la mezcla por sustitución de cemento ($MS 280 \text{ Kgf/cm}^2$), lo que representa casi la duplicidad del monto inicial.

Al comparar la producción de la mezcla con adición del 10% de microsíllice ($MA10 280 \text{ Kgf/cm}^2$), se tiene un aumento del 5,1% con respecto a la mezcla de sustitución ($MS 280 \text{ Kgf/cm}^2$) y un 96,8% con respecto a la mezcla patrón.

Para la producción de la mezcla con 15% adición ($MA15 280 \text{ Kgf/cm}^2$), se tiene un aumento del 48,4% respecto a la mezcla ($MA10 280 \text{ Kgf/cm}^2$), un aumento del 53,5% respecto a la mezcla ($MS 280 \text{ Kgf/cm}^2$) y un 145,1% de aumento frente a la mezcla patrón.

Por otro lado, las mezclas con resistencia de diseño $f'c = 350 \text{ Kgf/cm}^2$, presentan un costo de producción inicial para la mezcla MP 350 Kgf/cm^2 de 446,00 Bs/m³, sufriendo un aumento del 104,3% para la mezcla con sustitución de cemento (MS 350 Kgf/cm^2).

Seguidamente se observa un aumento del 5,8% para la producción de mezcla con 10% de adición (MA10 350 Kgf/cm^2) respecto a la mezcla MS 350 Kgf/cm^2 y un 111% respecto a la mezcla patrón.

Finalmente para producir la mezcla MA15 350 Kgf/cm^2 , se compara con un 55,2% de aumento respecto a la MA10 350 Kgf/cm^2 , un 61,1% respecto a la MS 350 Kgf/cm^2 y un 165,3% respecto a su mezcla patrón.

Para ambos tipos de mezcla según su resistencia de diseño, es notable que producir mezclas con adición del 15% de microsíllice (MA15) se traduce en casi tres veces el costo de una mezcla sin contenido del aditivo. En esa misma dirección, la producción por sustitución y/o adición del 10% de microsíllice implica duplicar el costo de la mezcla sin aditivo.

Si se establece una relación costo-resistencia, y se trata de implementar el aditivo para fines de durabilidad, mejoramiento del concreto y en sí aumentar la resistencia a compresión, la opción más viable de uso o aplicación corresponde a la adición de microsíllice en un 10%, en vista de que presenta el desarrollo de las resistencias más altas y su costo de producción es muy semejante al costo de las mezclas con sustitución de cemento por el compuesto.

CAPITULO VI:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1 Conclusiones

- El agregado nacional, en su forma comercial, no siempre cumple con los requisitos establecido en la normativa venezolana, ya sea por su gradación o por el contenido de sedimentos, lo que resulta en un factor de peso en la toma de decisiones para el diseño mezclas de concretos especiales, específicamente para los concretos de altas resistencias.

- La inclusión de microsilíce en concretos con baja relación agua/cemento disminuye la trabajabilidad de la mezcla, motivada a la reacción en masa, de las partículas del aditivo con el agua presente en la pasta, haciéndola menos fluida, representando así una desventaja para los casos donde se desee emplear y exista dificultad de manejo de las mezclas de concreto.

- La presencia de microsilíce en la pasta del concreto garantiza menos espacios saturables por el tamaño característico de sus partículas, lo que se traduce en una mezcla más homogénea siempre y cuando la trabajabilidad de la pasta permita un vibrado adecuado al momento de vaciarla.

- Las mezclas de concreto aumentan su peso unitario, en la medida en que se adiciona microsilíce y disminuyen su peso cuando es sustituido el cemento por microsilíce, esto motivado a que el cemento posee mayor peso específico que el microsilíce, y por ende el concreto será más pesado en la medida en que exista más cemento.

- La adición de microsíllice a mezclas de concreto diseñadas para altas resistencias a la compresión, con un rango entre 280 y 350 Kgf/cm², en una cantidad igual al 10% del peso del cemento, resulta en un aumento superior al 30% de la resistencia de dicho diseño, siendo mucho más óptimo que sustituir el cemento y que adicionar un porcentaje mayor de 10% del peso de cemento.

- Al diseñar concretos de altas resistencias con adición de microsíllice, se están duplicando los costos de producción de mezcla, debido a la directa proporcionalidad que existe entre las cantidades requeridas en la mezcla y su costo.

- El microsíllice en la presentación comercial utilizada no cumplió con todos los beneficios ofertados, considerando los ensayos aplicados en esta investigación

- Cuando se use microsíllice en concretos de alta resistencia para aplicaciones especiales en el ámbito nacional, se deben realizar mayor cantidad de ensayos, a fin de garantizar comportamientos más definidos en todas las características que dicho concreto deba reunir.

VI.2 Recomendaciones

- Es necesario realizar ensayos a todos los componentes del concreto, en especial si se trata de concretos especiales, como los de resistencias altas, específicamente usar agregados de calidad.

- Las compañías y casas comerciales que trabajan con aditivos para el concreto dan indicaciones que no siempre son compatibles con cualquier tipo de agregado y cemento nacional, por lo que se hace imperativo realizar pruebas y ensayos al concreto a fin de determinar la veracidad de las bondades suministradas en la información del producto.

- Se debe realizar una evaluación de la factibilidad económica antes de utilizar el microsíllice como aditivo para el concreto en la búsqueda de aumentos de la resistencia a la compresión

- Resulta más óptimo adicionar una determinada cantidad de microsíllice en mezclas de concreto que la acción de sustituir el cemento por el aditivo si de aumento de resistencia se trata.

- Como todo procedimiento experimental, manipular microsíllice requiere del cumplimiento las normas y condiciones mínimas de seguridad, tales como el uso de tapabocas, guantes y lentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COVENIN 254:1998 “Cedazos de ensayo”

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

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 277:2000 “Concreto. Agregados. Requisitos”

COVENIN 338:2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”

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

COVENIN 341:1979 “Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la tracción indirecta del concreto usando probetas cilíndricas”

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

COVENIN 1375:1980 “Método de ensayo para determinar por secado el contenido de humedad total y superficial del agregado”

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

Porrero, J.; Ramos, C.; Grases, J.; y Velazco G. (2004) Manual del Concreto Estructural. Caracas: SIDETUR. 503 p.

Torre, A. (2007). *Uso de adiciones minerales para mejorar la durabilidad del concreto*. Recuperado en Diciembre 3, 2009, de <http://www.scribd.com/doc/3121134/Adiciones-Minerales-Ana-Torre>

Vilca, P. (2008) *Obtención del concreto de alta resistencia*. Trabajo de grado de Ingeniería no publicado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado en Diciembre 4, 2009, de http://www.asocem.org.pe/web/tesis/Tesis_febrero2009.pdf

APÉNDICE

SILICA FUME

Aditivo a base de microsíllice para obtener altos niveles de resistencia y durabilidad en el concreto.



SILICA FUME

DESCRIPCIÓN:

EL **SILICA FUME** es un aditivo mineral amorfo, de gran finura, resultado de la reducción del cuarzo de alta pureza, con carbón de hulla y astillas de madera, en hornos de arco eléctrico durante la producción de silicio metal o ferro silicio.

Debido a su extrema finura, y a su alto contenido de sílica, se convierte en un material puzolánico muy efectivo el cual puede reaccionar con los productos de hidratación del cemento portland para formar materiales de cementación secundario durante el proceso de hidratación. En un cemento portland hidratado, el hidróxido de calcio, que no llega a reaccionar, es vulnerable a ataques químicos y a la percolación.

En los concretos normales y proyectados que contienen **SILICA FUME**, el hidróxido de calcio es consumido a través de reacciones puzolánicas con el Silica Fume, resultando en un concreto con muy baja permeabilidad y absorción y un incremento en la resistencia al deterioro bajo condiciones agresivas.

RECOMENDADO PARA:

- Concreto de altas resistencias para vigas, pilotes, prefabricados, post y pretensados, etc.
- Concretos de elevada resistencia.
- Puertos nuevos o en reparaciones.
- Pavimentos industriales.
- Construcciones hidráulicas, losas, carreteras y puentes.
- Concreto proyectado (**SHOTCRETE**) por vía seca o húmeda.
- Concretos vaciados bajo agua.

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS:

Concreto en general:

- Reduce la segregación y exudación.
- Contribuye a reducir el calor de hidratación.
- Reduce considerablemente la permeabilidad a sulfatos y cloruros.
- Incrementa la adhesión entre agregados, armaduras y fibras.
- Aumenta la cohesión.
- Aumenta la densidad.
- Disminuye la penetración del agua.
- Gran durabilidad a los ciclos de hielo y deshielo.
- Control de la reacción álcali - agregado.

En Concreto Proyectado (**SHOTCRETE**):

- Mejora la cohesión y la adhesión, permitiendo la aplicación de capas más gruesas en posiciones de sobre cabeza y verticales.
- Reduce costos debido a la reducción del rebote y al incremento en la productividad.

INFORMACIÓN TÉCNICA:

Si O ₂	min 85%
Al ₂ O ₃	máx. 2,5%
Fe ₂ O ₃	máx. 6,0%
Ca O	máx. 0,5%
Mg O	máx. 0,6%
Na ₂ O	máx. 1,5%
K ₂ O	máx. 1,0%
C	máx. 2,5%
Perdida Ignición	máx. 3,5%
Superficie específica	15 – 30 m ² /gr.
Densidad	550 – 700 Kg./m ³
Peso Específico	2,2 a 2,3 con respecto al agua (1gr/cc)
Tamaño Promedio Partícula	0,2 – 0,5 micrón.

ADITIVOS PARA EL CONCRETO

SILICA FUME



Color Gris claro

SILICA FUME cumple con las especificaciones de la ASTM C 1240 / ACI 234

La lista que se muestra a continuación es una muestra de las mejoras que pueden obtenerse con **SILICA FUME** dentro del concreto.

RESUMEN DE RESULTADOS DE ENSAYOS

	REDUCCION	INCREMENTO
Resist. A la Compresión		30%
Resistencia a la Flexión		50%
Difusión de Cloruros	500%	
Permeab. A Cloruros	10.000%	
Rebote	500%	
Permeabilidad al agua	10.000%	
Grosor de paso		500%
Resistencia a la abrasión		200%
Sulfato Resistencia		300%

DOSIFICACIÓN:

Del 5% al 15% sobre el peso del cemento, siendo una dosificación media óptima del 10%.

MODO DE EMPLEO:

Para obtener el efecto máximo, se recomienda adicionar **SILICA FUME** al cemento, antes del agua. Agitar energicamente y homogeneizar por completo la masa. Debido a la alta superficie específica de las partículas, es importante aumentar el tiempo de mezcla entre un 10% y un 20%.

La adición de Silica Fume produce un concreto más viscoso que induce a compensar con una mayor cantidad de agua, lo que traería como consecuencia un aumento en la relación agua: cemento y una reducción en la resistencia a todas las edades. Para compensar la trabajabilidad, es necesario utilizar **SILICA FUME** con un aditivo súper plastificante como el **PSP N** o **PSP NLS**.

PRESENTACIÓN:

Sacos de 15 kg.
Big Bag de 1.200 kg. (2.645 lb).

PRECAUCIONES Y LIMITACIONES:



- La dosis óptima del producto debe determinarse haciendo ensayos con los materiales y condiciones de la obra.
- Si se requiere hacer combinaciones con otros aditivos, se recomienda dosificarlos por separado en la mezcla. Consulte a nuestro Departamento Técnico.
- Todo concreto después de fraguado debe ser curado adecuadamente, de acuerdo a las normas. Consultar a nuestro Departamento Técnico.

ALMACENAMIENTO Y VIDA ÚTIL:

La vida útil del producto es indefinida, siempre que se conserve en sus envases originales, bien cerrados y resguardados de la intemperie.

HIGIENE Y SEGURIDAD:

El **SILICA FUME** es un material no tóxico, sin embargo, el personal que manipule este producto debe utilizar lentes, guantes y mascarillas. Si el producto hace contacto con la piel o los ojos, deberá lavarse con agua. Para más información consultar la Hoja de Seguridad de este producto.

La información aquí suministrada está basada en ensayos tomados de fuentes confiables, sin embargo, estos datos pudiesen variar, dependiendo de las condiciones bajo las cuales se realiza cada prueba y la correspondiente aplicación de cada producto. Tecnoconcret C.A., no se hace responsable si el material es utilizado de una manera distinta a la recomendada en este manual y a la sugerida por nuestro Departamento Técnico. Recomendamos a nuestros clientes, realizar pruebas y ensayos en la obra para determinar la conveniencia de su uso.