



***INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI***



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN
LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**

DANIEL ANDRES SANES LAGARES

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE POSGRADO
MAESTRIA EN INGENIERIA
ENFASIS INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**



***INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI***



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN
LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**

DANIEL ANDRES SANES LAGARES

**GRUPO DE INVESTIGACION: GIMAT
LINEA DE INVESTIGACION: PROPIEDADES Y ESTRUCTURA DE LOS
MATERIALES
PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE MAGISTER EN
INGENIERIA**

**DIRECTOR
ING. ANTONIO MERLANO RIVERA
MSc. INGENIERIA CIVIL**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
DEPARTAMENTO DE POSGRADO
MAESTRIA EN INGENIERIA
ENFASIS INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**



***INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI***



AGRADECIMIENTOS

La exitosa culminación de este trabajo no hubiese sido posible sin la asesoría, orientación por parte de personas quienes no solo prestaron su colaboración profesional, sino también humana.

Agradezco también al Ingeniero Civil Antonio Merlano, quien fue el guía no solo de este trabajo, sino también fue un apoyo incondicional durante toda mi formación académica.

Al ingeniero Modesto Barrios, quien muy amablemente facilitó su planta física para la realización de todos los ensayos necesarios para la realización de este trabajo.

Finalmente agradezco a todas aquellas personas quienes de una manera u otra colaboraron en la finalización de esta investigación y amenizaron mi formación académica



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
1. ESTADO DEL ARTE.....	23
1.1. CONCRETO.....	23
1.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO	23
1.2.1. Trabajabilidad.	23
1.2.2. Durabilidad.....	24
1.2.3. Impermeabilidad.	24
1.2.4. Resistencia.	24
• Resistencia a la compresión (F'_c).....	24
• Resistencia a la tracción	25
1.3. COMPONENTES DEL CONCRETO.....	25
1.3.1. Agregados.....	25
1.3.2. Agua para agregados	26
1.3.3. Cemento	27
1.3.4. Aditivos	27
1.4. CONCRETO REFORZADO	27
1.5. MICROFIBRA.....	27
1.5.1. Polipropileno	28
1.5.2. Microsilice o humo de sílice	28
1.6. ENSAYOS NORMALIZADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN EL CONCRETO	28



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



1.6.1. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos	28
1.7. ENSAYOS NORMALIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO.....	29
1.7.1. Concretos – elaboración y curado de especímenes de concreto en obra	29
1.7.2. Ingeniería civil y arquitectura – procedimiento recomendado para la evaluación de los ensayos de resistencia del concreto	29
1.7.3. Elementos de construcción – ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.....	31
1.7.4. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio.....	32
1.7.5. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.....	33
1.7.6. Método de ensayo normalizado para la resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto.....	33
1.8. ESTUDIOS PREVIOS.....	34
1.8.1. AMBITO INTERNACIONAL.....	34
1.8.1.1. Investigación The Hong Kong Polytechnic University - Comportamiento a la compresión del hormigón reforzado con fibra, sometido a altas temperaturas.	34
1.8.1.2. Investigación Tongji University, Shanghai & Institute of Building Materials TU Braunschweig - Resistencia mecánica residual de alto rendimiento del concreto a temperaturas elevadas con y sin fibras de polipropileno.....	35
1.8.2. AMBITO NACIONAL.....	37
1.8.2.1. Investigación Universidad de Cartagena 1997 - Concretos con alta resistencia al fuego. “Premio Nacional: Mención de Honor a la Excelencia en	



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



Concreto Categoría Tesis de Grado, Reunión del Concreto ASOCRETO 1998". (Del Castillo, A & Pinedo, M, 2013)	37
1.8.2.2. Investigación "la adición de microsilice como alternativa de mejoramiento de la Resistencia a compresión de concretos hidráulicos – (VILLALOBO DAVID Y NULE ELDER 2011)"	38
1.8.2.3. Universidad de Cartagena 2012. Implementación de microfibras de polipropileno en la producción de concretos de alta resistencia al fuego. (Orozco, 2012) 38	38
1.8.2.4. Universidad de Cartagena 2012. Estudio comparativo de manejabilidad, durabilidad, resistencia y costos de mezclas de concreto in situ, adicionadas con microsilice (Quiñones & Causil, 2012).	39
1.8.2.5. Universidad de Cartagena 2012. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LAS MICROFIBRAS DE PROPILENO VS LAS MICROSILICES SOBRE LAS RESISTENCIAS DE MEZCLAS DE CONCRETO DE 3000 Y 4000 PSI (Barrios & Sanes, 2013).....	40
1.9. DISEÑO DE EXPERIMENTOS	41
1.9.1. DISEÑOS FACTORIALES.....	42
1.9.1.1. Diseño factorial de dos factores.....	42
2. OBJETIVOS	44
2.1. GENERAL	44
2.2. ESPECIFICOS	44
3. ALCANCE	46
3.1. LOCALICACION DEL AREA DEL PROYECTO	46
3.2. ALCANCE DEL PROYECTO	46
4. METODOLOGIA	48
4.1. RECOPIACION DE LA INFORMACION PRIMARIA	48



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



4.2.	RECOPIACION DE LA INFORMACION SECUNDARIA	48
4.2.1.	Clasificación de los agregados para la mezcla de concreto.....	49
4.2.2.	Caracterización del cemento.....	49
4.3.	DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS DE 3000 Y 4000 PSI	50
4.3.1.	DISEÑO DE MEZCLA PARA RESITENCIA DE 3000 PSI.....	51
4.3.2.	DISEÑO DE MEZCLA PARA RESITENCIA DE 4000 PSI.....	52
4.4.	PREPARACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO 54	
4.5.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE ACUERDO A LA NORMA NTC – 673	56
4.6.	DISEÑO DEL EXPEREMIENTO	57
4.6.1.	Muestra de 3000 psi con adición de polipropileno y microsilice.....	57
4.6.2.	Muestra de 4000 psi con adición de polipropileno y microsilice.....	58
5.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	60
5.1.	RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN	60
5.2.	ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS.....	64
5.2.1.	Muestras de 3000 psi a 7 días con adición de microsilice	65
5.2.2.	Muestras de 3000 psi a 28 días con adición de microsilice	67
5.2.3.	Muestras de 3000 psi a 7 días con adición de polipropileno.....	69
5.2.4.	Muestras de 3000 psi a 28 días con adición de polipropileno.....	71
5.2.5.	Muestras de 4000 psi a 7 días con adición de microsilice	73
5.2.6.	Muestras de 4000 psi a 7 días con adición de polipropileno.....	75
5.2.7.	Muestras de 4000 psi a 28 días con adición de microsilice	76



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



5.2.8.	Muestras de 4000 psi a 28 días con adición de polipropileno.....	79
5.2.9.	Interacción de las mezclas de concreto con las adiciones separadas..	80
5.2.10.	Muestras combinadas con los porcentajes de adición óptimos	81
5.2.10.1.	Muestras combinadas con resistencia de 3000 PSI	83
5.2.10.2.	Muestras combinadas con resistencia de 4000 psi	85
5.3.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA POR MEDIO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAMETRAL	87
5.3.1.	Análisis de muestras de 3000 psi con adición de microsilice.....	90
5.3.2.	Análisis de muestras de 3000 psi con adición de polipropileno	90
5.3.3.	Análisis de muestras de 4000 psi con adición de microsilice.....	92
5.3.4.	Análisis de muestras de 4000 psi con adición de polipropileno	93
5.4.	ESTUDIO DE COSTOS DE LAS MEZCLAS CON Y SIN ADICIÓN	95
6.	CONCLUSIONES.....	99
7.	RECOMENDACIONES	103
	Bibliografía	104



***INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI***



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Efectos dela exposición al calor sobre los cilindros (izquierda) y ensayo de tracción indirecta (derecha). Fuente (Orozco, 2012)	39
Ilustración 2. Modelo general de un proceso o sistema	42



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Distribución de frecuencias de resistencia y la correspondiente distribución nominal. Fuente: NTC-2275, 2006	31
Grafica 2. Curvas normales de frecuencia para diferentes desviaciones estándar. Fuente: NTC-2275, 2006.....	31
Grafica 3. Curvas de resistencia a la compresión para muestras de 3000 psi y adición de microsilice. Fuente: Autores.....	62
Grafica 4. Curvas de resistencia a la compresión para muestras de 4000 psi y adición de microsilice. Fuente: Autores.....	63
Grafica 5. Curvas de resistencia a la compresión para muestras de 3000 psi y adición de polipropileno. Fuente: Autores	63
Grafica 6. Curvas de resistencia a la compresión para muestras de 4000 psi y adición de polipropileno. Fuente: Autores	64
Grafica 7. Diagrama de medias de Fisher para 7 días de edad y resistencia de 3000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores.....	67
Grafica 8. Diagrama de medias de Fisher para 28 días de edad y resistencia de 3000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores.....	68
Grafica 9. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	70
Grafica 10. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 3000 psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	72
Grafica 11. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de microsilice. Fuente: Autores	74
Grafica 12. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 4000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	76
Grafica 13. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 4000 psi con 28 días de edad y adición de microsilice. Fuente: Autores	78
Grafica 14. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 4000 psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	80



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



Grafica 15. Gráfico de interacciones para las muestras con adición combinada psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores 84

Grafica 16. Gráfico de interacciones para las muestras con adición combinada psi con 28 días de edad y adición de polipropileno resistencia de 4000 psi. Fuente: Autores 87

Grafica 17. Gráfico de medias para muestras de 3000 psi y adición de polipropileno Fuente: Autores..... 91

Grafica 18. Gráfico de medias para muestras de 4000 psi y adición de polipropileno Fuente: Autores..... 94



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Esfuerzo admisible por carga axial	32
Ecuación 2. Ecuación de falla por tracción indirecta	33
Ecuación 3 . Modelo estadístico del diseño de dos factores	43
Ecuación 4 . Modelo estadístico del diseño para muestras de 3000 psi con adición de polipropileno y microsíllice.....	57
Ecuación 5 . Modelo estadístico del diseño para muestras de 4000 psi con adición de polipropileno y microsíllice.....	58



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clasificación del concreto según su resistencia. Fuente: Sánchez de Guzmán.2001</i>	25
<i>Tabla 2. Clasificación de los agregados según el tamaño. Fuente: Gomezjurado. 1997</i>	26
Tabla 3. Datos iniciales de los materiales disponibles para la mezcla. Fuente: Autores.....	51
Tabla 4. Parámetros agregado fino. Fuente: Autores.....	51
Tabla 5. Parámetros agregado grueso. Fuente: Autores	51
Tabla 6. Parámetros mezcla. Fuente: Autores	51
Tabla 7. Cálculos de cemento y volúmenes. Fuente: Autores.....	52
Tabla 8. Proporciones aproximadas en volumen. Fuente: Autores	52
Tabla 9. Datos entrada de diseño de mezcla de 4.000 psi. Fuente: Autores	53
Tabla 10. Parámetros agregado fino. Fuente: Autores.....	53
Tabla 11. Parámetros agregado grueso. Fuente: Autores	53
Tabla 12. Parámetros mezcla. Fuente: Autores	53
Tabla 13. Cálculos de cemento y volúmenes. Fuente: Autores.....	54
Tabla 14. Proporciones aproximadas en volumen. Fuente: Autores	54
Tabla 15. Preparación de muestras de concreto patrón y microsilice de 3000 y 4000 psi. Fuente: Autores	55
Tabla 16. Preparación de muestras de concreto con adición de polipropileno de 3000 y4000 psi. Fuente: Autores.....	55
Tabla 17. Preparación de muestras de concreto con adición de polipropileno y microsilice de 3000 y4000 psi. Fuente: Autores	55
Tabla 18 Resistencias obtenidas de las diferentes muestras. Fuente: Autores	61
Tabla 19 Resistencias detallada para concreto de 3000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores	61
Tabla 20 Resistencias detallada para concreto de 4000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores	61



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



Tabla 21 Resistencias detallada para concreto de 3000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	61
Tabla 22 Resistencias detallada para concreto de 4000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	62
Tabla 23. Análisis de varianza para muestras ensayadas a 7 días y adición de microsilice con resistencia de 3000 psi. Fuente: Autores.....	65
Tabla 24. Prueba LSD para muestras con porcentaje de microsilice, edad de 7 días y resistencia de 3000 psi. Fuente: Autores	65
Tabla 25. Detallamiento de diferencias muestras con porcentaje de microsilice, edad de 7 días y resistencia de 3000 psi. Fuente: Autores.....	66
Tabla 26. Análisis de varianza para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores	67
Tabla 27. Prueba LSD de Fisher para muestras de 3000 psi con adición de microsilice y 28 días de edad. Fuente: Autores.....	67
Tabla 28. Análisis de varianza para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores	69
Tabla 29. Prueba LSD para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	69
Tabla 30. Detallamiento de diferencias muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores	70
Tabla 31. Análisis de varianza para muestras de 3000 psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores	71
Tabla 32. Prueba LSD para muestras de 3000 psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	71
Tabla 33. Análisis de Varianza para muestras de 7 días de edad y adición de microsilice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)	73
Tabla 34. Prueba de rangos múltiples LSD para muestras de 7 días de edad y adición de microsilice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)	73



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



Tabla 35. Contraste de las medias para muestras de 7 días de edad y adición de microsilice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)	74
Tabla 36. Análisis de Varianza para muestras de 7 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores).....	75
Tabla 37. Prueba de rangos múltiples para muestras de 7 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores).....	75
Tabla 38. Prueba de rangos múltiples para muestras de 7 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores).....	75
Tabla 39. Análisis de varianza para muestras de 28 días de edad y adición de microsilice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)	77
Tabla 40. Prueba de múltiples rangos para muestras de 28 días de edad y adición de microsilice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores).....	77
Tabla 41. Análisis de varianza para muestras de 28 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores).....	79
Tabla 42. Prueba de rangos múltiples para muestras de 28 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores).....	79
Tabla 43. Experimento con adiciones combinadas. Fuente: Autores.....	81
Tabla 44. Experimento con adiciones combinadas con resistencias de 3000 y 4000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores.....	82
Tabla 45. Análisis de varianza para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 3000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores.....	83
Tabla 46. Prueba de rangos múltiples para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 3000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores.....	83
Tabla 47. Prueba de rangos múltiples para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 3000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores.....	84
Tabla 48. Análisis de varianza para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 4000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores.....	85



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



Tabla 49. Prueba de rangos múltiples para el factor de microsilice para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 4000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores.....	86
Tabla 50. Prueba de rangos múltiples para el factor de polipropileno para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 4000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores.....	86
Tabla 51. Resumen de resistencia a tracción indirecta para muestras de 3000 y 4000 psi. Fuente: Autores	88
Tabla 52. Resistencia promedio y comparación de resistencia esperada para muestras de 3000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores	88
Tabla 53. Resistencia promedio y comparación de resistencia esperada para muestras de 4000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores	89
Tabla 54. Resistencia promedio y comparación de resistencia esperada para muestras de 3000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Autores	89
Tabla 55. Resistencia promedio y comparación de resistencia esperada para muestras de 4000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Autores	89
Tabla 56. Análisis de varianza para muestras de 3000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores.....	90
Tabla 57. Análisis de varianza para muestras de 4000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores.....	90
Tabla 58. Prueba de rangos múltiples para muestras de 4000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores	91
Tabla 59. Análisis de Varianza para muestras de 4000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores.....	92
Tabla 60. Prueba de rangos múltiples para muestras de 4000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores	92
Tabla 61. Análisis de varianza para muestras de 4000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	93



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



Tabla 62. Prueba de rangos múltiples para muestras de 4000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Autores.....	93
Tabla 63. Costo de materiales para un metro cúbico de 3000 psi. Fuente: Construdata 2016.....	95
Tabla 64. Costo de materiales para un metro cúbico de 4000 psi. Fuente: Construdata 2016.....	95
Tabla 65. Costo de materiales para un metro cúbico de 3000 psi con adición de microsilice. Fuente: Construdata 2016.....	96
Tabla 66. Costo de materiales para un metro cúbico de 4000 psi con adición de microsilice. Fuente: Construdata 2016.....	96
Tabla 67. Costo de materiales para un metro cúbico de 3000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Construdata 2016.....	96
Tabla 68. Costo de materiales para un metro cúbico de 4000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Construdata 2016.....	97
Tabla 69. Análisis de aumento de resistencia para las mezclas adicionadas de 3000 y 4000 psi. Fuente: Autores.....	97
Tabla 70. Análisis de costo para las mezclas adicionadas de 3000 y 4000 psi. Fuente: Autores.....	98



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



RESUMEN

El trabajo de grado que se presenta a continuación está basado en un estudio profundo teórico, práctico y estadístico del comportamiento de los materiales y en cómo estos influyen en la resistencia final del concreto, así como, los efectos obtenidos al realizar adiciones de microsilíce y polipropileno en las mezclas del mismo y la variación de resistencia final obtenida con ellas.

Para garantizar la validez de los resultados este trabajo se realizó usando una metodología mixta, es decir, se recopiló información preliminar necesaria para la producción de las muestras, así como los diseños de mezcla, propiedades de materiales y planteamiento del modelo experimental. Luego, se llevó a cabo la producción de las muestras y el experimento planteado y demás ensayos necesarios para obtener los resultados y proceder al análisis de los mismos.

Basándonos en los resultados obtenidos se encontró que las fibras de microsilíce presentan un aumento de resistencia a partir del 1% de adición y que los porcentajes óptimos de aumento de resistencia de esta están en el rango de 1% a 2%, pero se encontró un comportamiento pobre por parte de estas fibras al ser sometidas a esfuerzos a tracción. Por el contrario las fibras de polipropileno presentaron un aumento de resistencia mecánica a la compresión a partir del 2% y un aumento progresivo de resistencia a la tracción debido a sus propiedades plásticas las cuales ayudan a disminuir la susceptibilidad del concreto ante estos esfuerzos.



***INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI***



ABSTRACT

The investigation presented is focused to a theoretical, practical and statistical about the behavior of the materials and their influence in the final strength of the hydraulic concrete, also, the effects caused by the additions of silica and polypropylene in the concrete mix and how their strength varies under the influence of this additions.

In order to guarantee the veracity of the results provided by this work a mix methodology was used, preliminary information was obtained for the correct production on the samples, as well as the mixes design for 3000 and 4000 psi strength, the properties of the materials and finally the experimental model. Later, the samples were produced and tested following the current regulations in order to have the results and proceed to their analysis.

In base of the results we found that silica fibers presented a gain in strength from 1% and the optimal percentages are 1% to 2%, also, we found a very poor behavior of the silica fibers submitted to tension stress. On contrary the polypropylene fibers presented gain in compression strength and also in tension strength, the optimal percentage of addition of polypropylene fiber in order to gain significant compression strength is 2%, the better results with tension stresses is because the polypropylene has plastic properties which help to decrease the susceptibility of the concrete to this stresses.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



INTRODUCCIÓN

Para garantizar la competitividad del concreto como material de uso principal en la construcción de obras civiles se hace necesario la innovación en el mismo, esto, significa mejorar sus propiedades mecánicas mediante adiciones y la implementación de aditivos que actúan sobre estas propiedades en específico, existen adiciones que demoran el fraguado, disminuyen el calor de hidratación, previenen la fisuración causada por la pérdida rápida de humedad, aumento o disminución de la relación agua cemento, mejoramiento de la trabajabilidad y aumento de su resistencia mecánica.

Más específicamente nos enfocaremos en las fibras de microsilice y el polipropileno ya que en trabajos anteriores se ha demostrado que por separado permiten mejorar las características de resistencia mecánica al concreto, específicamente en investigaciones realizadas por Sanes y Barrios en el 2013 se encontró experimentalmente que existen dosificaciones óptimas para estas adiciones que permiten aumento significativo de las resistencia mecánica del concreto, pero aumentando el costo de producción del mismo.

El humo de sílice al ser más fino que el concreto permite llenar los espacios vacíos de la mezcla de concreto, haciendo un material mucho más compacto pero disminuyendo su trabajabilidad, a su vez esto mejora en gran medida la resistencia mecánica del mismo. Por el contrario el polipropileno además de mejorar el comportamiento ante la exposición al fuego del concreto permite un aumento de su trabajabilidad y un incremento de la plasticidad.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Al ser Cartagena una ciudad en crecimiento en el ámbito de infraestructura, además, de ser una zona rica en producción de materiales para la construcción se hace indispensable garantizar que estos cumplan con los requerimientos del mundo moderno, además, las estructuras futuras cada vez son más exigentes en materia de sollicitaciones (cargas vivas, muertas, sísmicas y de viento) lo cual es un reto adicional para el concreto y pone al límite su resistencia.

El propósito de este trabajo de grado es llevar a cabo un análisis comparativo ya no basado simplemente en los resultados obtenidos por una serie histórica de ensayos, sino, con bases teóricas y estadísticas encontrar la influencia real que tienen las adiciones de humo de sílice y polipropileno sobre la resistencia final mediante un experimento diseñado para los estándares actuales y analizando los resultados del mismo con herramientas tecnológicas y estadísticas. Finalmente se encontraran las dosificaciones optimas que permitan la producción de un concreto que cumpla con los estándares de resistencia, calidad y sea de producción viable económicamente.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



1. ESTADO DEL ARTE

1.1. CONCRETO

El concreto es un compuesto formado por un aglutinante, usualmente cemento portland, agua, áridos y finalmente aditivos, que al mezclarse forman un material capaz de soportar con el paso de los tiempos grandes esfuerzos a compresión. (Gomezjurado, 1997)

Este se produce a partir de un diseño de mezcla que se basa en la selección de los componentes de la misma, los cuales en las dosificaciones adecuadas y después de cierto tiempo obtiene las propiedades de resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad y apariencia requeridas.

Las dosificaciones planteadas teóricamente fueron dosificaciones en función de peso del cemento y variaron en porcentajes de 1 a 4%.

1.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO

El concreto al igual que cualquier otro material posee ciertas propiedades que están determinadas por la calidad y estado de los materiales. Analizaremos entonces las propiedades más importantes del concreto:

1.2.1. Trabajabilidad.

Es la facilidad con la cual pueden mezclarse los materiales que conforman la mezcla, además corresponde también a la manejabilidad que posee la misma, para transportarse y colocarse sin perder o teniendo poca pérdida de homogeneidad. (Sanchez de Guzman, 2001)



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Se observó una disminución de la trabajabilidad de la mezcla al agregar las adiciones por lo cual fue necesario aumentar el porcentaje de agua de la mezcla y realizar un cambio de diseño.

1.2.2. Durabilidad.

Es la capacidad que tiene el concreto de resistir los embates ambientales, productos químicos y desgastes a los que estará expuesto a través del tiempo de servicio del mismo. (Sanchez de Guzman, 2001)

1.2.3. Impermeabilidad.

Es la propiedad del concreto que dificulta el paso de fluidos a través de la mezcla, esta propiedad es inversamente proporcional a la cantidad de agua que se agregue a la mezcla. (Sanchez de Guzman, 2001)

1.2.4. Resistencia.

Es la capacidad que posee el concreto de soportar esfuerzos, es determinada por la resistencia final de una probeta a compresión, como el concreto tiende a aumentar su resistencia al pasar el tiempo. Esta propiedad es medida usualmente a los 28 días de fundida la mezcla. (Sanchez de Guzman, 2001)

La resistencia física es la propiedad más importante del concreto, en general los concretos resistentes son más densos, menos permeables, poseen mejor resistencia a la exposición ambiental y los agentes destructivos, aunque si el concreto es demasiado resistente se puede generar cierta tendencia al agrietamiento. El concreto por si solo es capaz de soportar grandes esfuerzos a compresión pero presenta muy poca resistencia a los esfuerzos a tracción (Sanchez de Guzman, 2001)

- **Resistencia a la compresión ($F'c$)**

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida en un espécimen de concreto a carga axial, usualmente es medida



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



en kg/cm² a los 28 días de edad del espécimen y puede variar de acuerdo a las especificaciones, de acuerdo a la resistencia el concreto puede clasificarse de la siguiente manera. (Sanchez de Guzman, 2001)

CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO	RESISTENCIA (MPa)
Normal	14 – 42
Resistente	43 - 100
Ultra resistente	Mayor que 100

Tabla 1. Clasificación del concreto según su resistencia. Fuente: Sánchez de Guzmán.2001

De acuerdo a esta clasificación nuestro concreto entra en el rango de concretos normales, ya que son concretos de 21 y 28 MPa respectivamente los cuales no superan el rango de 42 MPa que los limita

- **Resistencia a la tracción**

El concreto presenta muy poca resistencia a la tracción y se ha estimado que esta está alrededor del 10% de la resistencia a la compresión del concreto. (Sanchez de Guzman, 2001)

Se obtuvieron resultados cercanos a los esperados teóricamente para las muestras patronas ensayadas a tracción indirectas, lo que indica que los estudios teóricos y prácticos son veraces.

1.3. COMPONENTES DEL CONCRETO

1.3.1. Agregados

Los agregados son aquellos materiales que a pesar de poseer cierta resistencia propia no perturban ni alteran los procesos de endurecimiento de la mezcla, además garantizan la adherencia necesaria para la formación de la pasta de concreto. (Gomezjurado, 1997)



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Los agregados en combinación con la pasta aportan la resistencia final además ayudan a controlar los cambios volumétricos evitando el agrietamiento por retracción volumétrica., los agregados se clasifican por granulometría de acuerdo a la tabla siguiente (Gomezjurado, 1997):

Tamaño de las partículas en mm (Tamiz)	Determinación corriente	Clasificación como agregado para concreto
<0,002 0,002 – 0,074 (N° 200)	Arcilla Limo	Fracción muy fina
0,075 – 4,76 (N°200) – (N°4)	Arena	Agregado fino
4,76 – 19,1 (N°4) – (3/4") 19,1 – 50,8 (3/4") – (2") 50,8 – 152,4 (2") – (6") >152,4 (6")	Gravilla Grava Piedra Rajón	Agregado grueso

Tabla 2. Clasificación de los agregados según el tamaño. Fuente: Gomezjurado. 1997

1.3.2. Agua para agregados

Es un ingrediente fundamental en la elaboración de concreto y mortero, de acuerdo a la cantidad de agua presente en la mezcla puede influir en la trabajabilidad y resistencia. Para poder usar el agua en mezclas esta debe cumplir ciertas características físicas y químicas. (Gomezjurado, 1997)

La norma ASTM D-1129 define las características del agua para la producción de concretos, entre estas encontramos la acidez, la alcalinidad, el cloro residual, dureza, ph, sedimentos, solidos disueltos y turbidez.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



1.3.3. Cemento

El cemento es un material que presenta propiedades que permiten la adherencia y cohesión de fragmentos minerales entre si dando como resultado un todo compacto. (Gomezjurado, 1997).

El cemento es una mezcla conformada por materiales calcáreos, arcillosos y materiales a base de sílice. Fue creado inicialmente por Joseph Aspdin mediante un proceso que luego fue perfeccionado por Isaac Johnson, el cemento posee la capacidad de fraguar y endurecerse en presencia de agua, este proceso es llamado hidratación. (Gomezjurado, 1997)

1.3.4. Aditivos

Son aquellos ingredientes que se adicionan a la mezcla y que se utilizan con el fin de modificar las propiedades del concreto en sus diferentes estados, para así hacerlo más adecuado al trabajo o exigencia dadas, además cumplir con los requisitos necesarios. (Gomezjurado, 1997)

Para nuestros concretos se usaron dos aditivos para comparar sus efectos sobre la resistencia del mismo, microsilice y polipropileno.

1.4. CONCRETO REFORZADO

Es el concreto al cual se le adiciona cierto refuerzo de acero ya sea en barras o mallas con fin de absorber los esfuerzos a tracción los cuales el concreto por sí mismo no puede soportar, pero sabiendo que el trabajo de ambos materiales es en conjunto a partir de las deformaciones de los materiales. (Segura Franco, 1998)

1.5. MICROFIBRA

La microfibra es un producto caracterizado por su dimensión longitudinal utilizada como refuerzo en el concreto sin alterar sus características geométricas.

Las fibras de polipropileno son eficaces en la limitación de los efectos del Spalling, es decir minimizan el estallido del hormigón, en particular las fibras subliman en parte a unos 170° creando cavidades libres las cuales son las causantes de minimizar



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



dicho fenómeno. (Gallovich Sarzalejo, Rossi, Perri, Winterberg, & Perri Arristigueita, 2010).

1.5.1. Polipropileno

El polipropileno es un plástico obtenido a través del propileno extraído del gas del petróleo, es un material termoplástico incoloro y muy ligero, además es duro y dotado de gran resistencia al choque y la tracción, posee excelentes propiedades eléctricas y presenta una muy buena resistencia a agentes químicos. (Gnauck & Bernhard, 1989)

El concreto con adición de polipropileno muestran resultados positivos en aumento de resistencia a la tracción confirmando que el polipropileno al ser un material resistente a la tracción por sí solo, trasmite esas propiedades a la matriz.

1.5.2. Microsilice o humo de sílice

El humo de sílice es un material puzol añico de alta reactividad, resultado de la reducción de cuarzo de pureza elevada (SiO_2) con carbón en hornos de arco eléctricos, al ser más fino que el cemento permite una mayor y mejor oclusión de los poros, mejorando la interfaz matriz agregado y oreciendo así un producto resistente y duradero. (Vidaud, 2012).

Los concretos adicionados con microsilice presentan un aumento representativo de resistencia a la compresión, indicando que la adición de microsilice y sus propiedades de sellado de poro influyen grandemente en su resistencia final

1.6. ENSAYOS NORMALIZADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES QUE CONFORMAN EL CONCRETO

1.6.1. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos

De acuerdo con la norma NTC-77 el objetivo de este ensayo es la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, este método de ensayo se usa principalmente para determinar la



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



gradación de los materiales propuestos a usarse como agregados, o que se están utilizando como tales. Los resultados se usan para determinar la correlación entre la distribución de los tamaños de partículas y los requisitos específicos de aplicación y para suministrar los datos necesarios para el control de producción de varios materiales y mezclas que contienen agregados. Los datos también pueden ser útiles en la determinación de las relaciones de porosidad y entramamiento (NTC-77, 2007), (Orozco, 2012)

1.7. ENSAYOS NORMALIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO

1.7.1. Concretos – elaboración y curado de especímenes de concreto en obra

La Norma Técnica Colombiana NTC 550, establece los procedimientos para la elaboración y curado de especímenes cilíndricos y prismáticos, tomados de muestras representativas de concreto fresco para construcción, establece los requisitos normalizados para la elaboración, curados, protección y transporte de los especímenes de ensayo de concreto en las condiciones de la obra. (Orozco, 2012) (NTC-550, 2007)

1.7.2. Ingeniería civil y arquitectura – procedimiento recomendado para la evaluación de los ensayos de resistencia del concreto

La norma técnica colombiana NTC 2275 establece que el propósito de los ensayos de resistencia del concreto es el determinar el cumplimiento de una especificación de resistencia y el de medir su variabilidad. Los procedimientos establecidos no solo proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de los ensayos de la resistencia, sino que la información derivada de dichos procedimientos sirve también para depurar los criterios y las especificaciones del diseño. (Orozco, 2012) (NTC-2275, 2006)

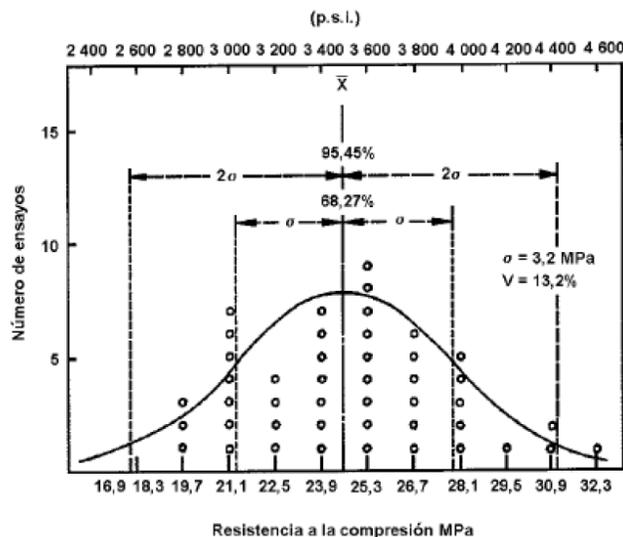


INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Este documento trata brevemente las variaciones que ocurren en la resistencia del concreto y presenta procedimientos estadísticos que son útiles en la interpretación de estas variaciones con respecto a los criterios y especificaciones requeridas. Para que estos procedimientos estadísticos sean válidos, los datos deben derivarse de muestras obtenidas en el curso del desarrollo de un plan de muestreo al azar, diseñado para reducir la posibilidad de que aquel que vaya a hacer el ensayo, escoja las muestras. El muestreo aleatorio significa que existe la misma probabilidad de elegir cualquiera de las muestras. Para que esta condición sea segura, la elección debe hacerse por medio de algún mecanismo objetivo tal como una tabla de números al azar. Si el seleccionador de las muestras se basa solo en su propio criterio, es probable que su inclinación invalide los resultados que se analizan en los procedimientos aquí presentados.

Dentro de las funciones estadísticas, se debe asumir que la resistencia de las muestras de ensayo de concreto en proyectos controlados cae dentro de un patrón similar a la curva de distribución normal de frecuencia ilustrada en la Grafica 1. Cuando existe un buen control, los valores de la resistencia estarán agrupados cerca de la media y la curva será alta y estrecha tal como muestra la gráfica. (NTC-2275, 2006)

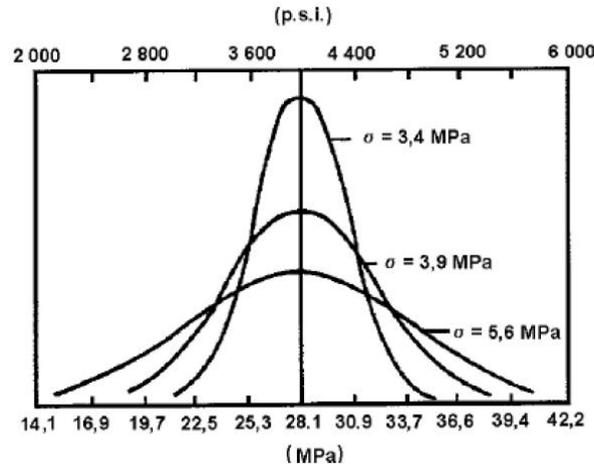




INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Grafica 1. Distribución de frecuencias de resistencia y la correspondiente distribución nominal. Fuente: NTC-2275, 2006



Grafica 2. Curvas normales de frecuencia para diferentes desviaciones estándar. Fuente: NTC-2275, 2006

Los valores de resistencia para determinar la desviación estándar o el coeficiente de variación deben representar un conjunto de por lo menos 30 ensayos consecutivos hechos sobre el concreto producido bajo condiciones semejantes a las previstas en el proyecto. Se considera cumplido con el requisito para 30 ensayos consecutivos de resistencia si los ensayos representan ya sea un grupo de 30 mezclas consecutivas de la misma clase de concreto o el promedio estadístico de 2 grupos que sumen 30 o más mezclas. Es difícil definir condiciones semejantes y es mejor recolectar información de varios grupos de 30 o más ensayos. En general, los cambios de materiales y de procedimientos, tienen un efecto más grande en el nivel de resistencia promedio que en la desviación estándar o en el coeficiente de variación. (Orozco, 2012)

1.7.3. Elementos de construcción – ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

La Norma Técnica Colombiana NTC 673, da la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y núcleos perforados. Se encuentra limitado al concreto que tiene un



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



peso unitario mayor que 800 kg/m³ [50 lb/ft³]. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros normalizados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla.

La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área de la probeta; Es usado para determinar la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las prácticas NTC 550, NTC 1377, y ASTM C 873. (Orozco, 2012)

$$\sigma = P/A$$

Ecuación 1. Esfuerzo admisible por carga axial

Donde:

σ : Esfuerzo admisible

P: Carga de la prueba

A: Area transversal de las muestras analizadas

Los resultados de este método de ensayo son usados como base para el control de la calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto, determinación del cumplimiento de las especificaciones, control para la evaluación de la efectividad de aditivos y usos similares. (NTC-673, 2010)

1.7.4. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio

Norma Técnica Colombiana NTC 1377, esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo un control preciso de los materiales y las condiciones de ensayo, usando concreto que se puede compactar por apisonamiento o vibración. Proporciona los requisitos para



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



la preparación de materiales, mezclado del concreto y la elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo en condiciones de laboratorio. (Orozco, 2012) (NTC-1377, 2010)

1.7.5. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto

Mediante este ensayo se estima el asentamiento del concreto en condiciones de obra y laboratorio. El asentamiento es una característica que tiene el concreto en su estado fresco y esta señala el grado de manejabilidad y trabajabilidad que tiene una mezcla; las mezclas demasiado plásticas sin aditivos indican que tienen adicionadas una relación agua-cemento muy alta, que según la ley de Abrahams incide en la resistencia del concreto. (Orozco, 2012) (NTC-396, 1992)

1.7.6. Método de ensayo normalizado para la resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto

Este método comúnmente llamado el método del “Brasileño” determina los esfuerzos de tracción de forma indirecta a través de la compresión diametral de una probeta cilíndrica. A diferencia de la prueba del módulo de rotura, en esta prueba el concreto falla exclusivamente por los esfuerzos de tracción que ocurren en este ensayo, el concreto presenta una ruptura brusca a lo largo de toda su longitud por el medio de la muestra. (ASTM-C496, 2001)

La ecuación que detalla el mecanismo de falla por tracción indirecta es:

$$\tau = \frac{2P}{\pi ld}$$

Ecuación 2. Ecuación de falla por tracción indirecta

Donde:

P: Carga máxima ejercida en la prueba

d: Diámetro de la probeta



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



l: Longitud de la probeta

Este ensayo permite conocer los esfuerzos de tracción que absorbe el concreto simple en condiciones normales, la falla en este ensayo ocurre tanto en la fase agregado y la fase matriz. Un buen ensayo sucede cuando esta ocurre por el centro longitudinal de la probeta y a su vez no tiene fallas secundarias alrededor de su longitud. (Orozco, 2012)

1.8. ESTUDIOS PREVIOS

1.8.1. AMBITO INTERNACIONAL

1.8.1.1. Investigación The Hong Kong Polytechnic University - Comportamiento a la compresión del hormigón reforzado con fibra, sometido a altas temperaturas.

Se estudiaron los efectos de temperaturas elevadas en la resistencia a la compresión, relación estrés-deformación (rigidez) y la capacidad de absorción de energía (resistencia) en el hormigón con aditivos. Para los hormigones de alto desempeño (HPC) se prepararon tres series con diferentes tipos de cemento como: cemento Portland normal (PC), cemento portland con y sin metacaolín (MK) y cemento con humo de sílice (SF) cada sustitución fue por separado. Cada serie comprende una mezcla de hormigón, elaborado sin ningún tipo de fibras y mezclas de concreto reforzado con fibras de acero y polipropileno (PP) o ambas.

Los resultados mostraron que después de la exposición a 600 y 800°C, las mezclas de concreto conservaron respectivamente, el 45% y 23% de su resistencia a la compresión en promedio. Los resultados mostraron además que, después que el concreto fue expuesto a altas temperaturas, la pérdida de rigidez fue mucho más rápida que la pérdida de resistencia a la compresión, pero la pérdida de la capacidad



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



de absorción de energía fue relativamente más lenta. Un remplazo de 20% del cemento por MK causó mayor resistencia a la compresión pero también, una dureza específica inferior en comparación con el hormigón elaborado con un 10% de sustitución de cemento por la SF. El concreto MK mostró más rápido las pérdidas en la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y la capacidad de absorción de carga después de la exposición a las temperaturas elevadas. Las fibras de acero duplicaron la capacidad de absorción de carga del hormigón sin exposición al fuego, estas fueron eficaces en la reducción de la degradación de la resistencia a la compresión del concreto después de la exposición a temperaturas elevadas. El hormigón reforzado con fibra de acero mostró la capacidad de absorción de carga más alta después de la exposición a temperaturas elevadas, a pesar de que sufrió una rápida pérdida de esta capacidad. En comparación, utilizando fibras de PP reduce la capacidad de absorción de carga del concreto después de la exposición a 800°C a pesar de que tuvo un efecto beneficioso de menor importancia en la capacidad de absorción de energía del hormigón antes de calentar. (C.S. Poon, 2003)

1.8.1.2. Investigación Tongji University, Shanghai & Institute of Building Materials TU Braunschweig - Resistencia mecánica residual de alto rendimiento del concreto a temperaturas elevadas con y sin fibras de polipropileno

Fueron diseñados y producidos cilindros de hormigón de alto rendimiento (HPC) con dimensiones de 100 x 100 x 100 y de 100 x 100 x 515, mezclados con y sin microfibras de polipropileno (PP) respectivamente. Estas muestras fueron llevadas a altas temperaturas en un horno eléctrico, siguiendo aproximadamente la curva iso-834, con una serie de temperaturas objetivo que van desde 20 hasta 900°C.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Ningún desprendimiento explosivo se observó durante la prueba de fuego en las muestras de HPC con fibras de PP, mientras que algunos desprendimientos se produjeron en muestras de HPC sin fibras. La relación entre la pérdida de masa y la temperatura de exposición fue investigada. Además los cubos de calefacción y enfriamiento y prismas fueron probados bajo carga monotónica a la compresión y cuatro puntos de carga flexión respectivamente. La degradación tanto de la resistencia residual a la compresión y la resistencia a la flexión se analizó, los efectos de las fibras de PP en la resistencia mecánica residual de las muestras de HPC a temperaturas elevadas también se investigaron. Finalmente, se diseñó una curva de resistencia al fuego relacionando la resistencia residual a la compresión Vs temperatura, así como una curva que describe la resistencia residual a la flexión Vs la temperatura, dichas curvas fueron propuestas a partir de análisis estadístico de los datos de la prueba. (Jianzhuang & Falknerb, 2006)

Los materiales usados en esta investigación fueron:

- Cemento Portland ordinario tipo I, de acuerdo al estándar chino 175-1999
- Escoria de alto horno S90
- Humo de silicona
- Arena del río con módulo de finura de 2.50
- Piedra caliza (5-15mm, para C100)
- Superplastificante
- Agua potable
- Fibras de polipropileno disponible en el mercado (15mm en la longitud máxima, 45 μ m en el diámetro y punto de fusión de 165°C)



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



1.8.2. AMBITO NACIONAL

1.8.2.1. Investigación Universidad de Cartagena 1997 - Concretos con alta resistencia al fuego. “Premio Nacional: Mención de Honor a la Excelencia en Concreto Categoría Tesis de Grado, Reunión del Concreto ASOCRETO 1998”. (Del Castillo, A & Pinedo, M, 2013)

Se tuvo como objetivo primordial conocer los diseños de mezclas más eficientes para la producción de concretos de alta resistencia al fuego, utilizando los materiales de la región tales como: china de Arroyo de Piedra, caliza de Cimaco, arena de Palmarito, además se usó un súper plastificante para medir la incidencia de este en los concretos de alta resistencia al fuego. Las pruebas realizadas para desarrollar la investigación fueron las tipificadas por el Icontec, y además se hizo uso de la curva ISO-834 para elevar la temperatura en el horno donde se hicieron los ensayos. Se realizaron pruebas a diferentes temperaturas que partían desde los 30°C hasta los 900°C aproximadamente a diferentes edades y con distintas resistencias. Aquí se obtuvieron los siguientes resultados: La pérdida de resistencia a la compresión en el concreto es mayor en donde se usó como agregado grueso la “china de arroyo de piedra” mientras el agregado calizo tuvo una mejor respuesta y esta se acentuó después de los 605°C. Esto se debe a las diferentes reacciones desde el punto de vista mineralógico que presenta los diferentes tipos de agregados: Los agregados de río se fisuran por encima de los 500°C por un repentino aumento volumétrico, mientras que los agregados calizos crean una película superficial de dióxido de carbono, la cual actúa como aislante térmico. Para concretos con el mismo tipo de agregado, pero con diferentes tamaños máximos, el porcentaje de reducción de la resistencia con respecto a la temperatura es muy poco variable.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



1.8.2.2. Investigación "la adición de microsilice como alternativa de mejoramiento de la Resistencia a compresión de concretos hidráulicos – (VILLALOBO DAVID Y NULE ELDER 2011)"

Se alcanzaron concretos de resistencia a compresión de 6000 psi, para proporciones de finos de 40% (arena $M_f = 2.1$), 60% de grava (TMN 1"), A/C = 0,4, cemento tipo I y microsilíce pura, bajo estrictas condiciones de elaboración concluyendo que el contenido ideal de microsilíce es de 10% para alcanzar esta resistencia, con el agravante de una considerable pérdida de trabajabilidad (slump ≤ 8 cm).

1.8.2.3. Universidad de Cartagena 2012. Implementación de microfibras de polipropileno en la producción de concretos de alta resistencia al fuego. (Orozco, 2012)

Se observó que el incremento en la dosificación de microfibras de polipropileno en el concreto interviene para que las mezclas pierdan trabajabilidad ya que el asentamiento en el cono de Abrahams disminuye notoriamente cada vez que se aumenta la cantidad de estas.





INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Ilustración 1. Efectos de la exposición al calor sobre los cilindros (izquierda) y ensayo de tracción indirecta (derecha). Fuente (Orozco, 2012)

1.8.2.4. Universidad de Cartagena 2012. Estudio comparativo de manejabilidad, durabilidad, resistencia y costos de mezclas de concreto in situ, adicionadas con microsilice (Quiñones & Causil, 2012).

Se utilizaron agregados de origen metamórfico correspondiente a un material aluvial extraído del río Magdalena en la zona de influencia del municipio de Calamar (Bolívar) y Cemento Portland (PC) Tipo I Marca ARGOS de uso general. Así se observó que para contenidos de microsilice de 9% o más y condiciones ideales de dosificación, mezclado, colocación, compactación y curado empleando los materiales de la región (canto rodado no fracturado y arena de gradación media) se obtienen concretos de resistencias considerables (≥ 6000 psi), baja permeabilidad (debido a la poca capacidad de absorción de líquidos), de consistencia muy húmedas (está en función de la cantidad de superplastificante utilizado dependiendo del requerimiento de obra) y con menos de 0,001% de pérdida de sección efectiva por abrasión mecánica siendo un concreto de alta durabilidad; por todo lo anterior se dificultará el paso de sustancias químicas agresoras como sulfatos y cloruros al acero de refuerzo, reduciendo al máximo los daños causados por corrosión en las armaduras. Este resultado es semejante al obtenido en el estudio "evaluación de microsilice en la reparación de vigas de hormigón armado contaminado con cloruro[©]" realizado en España y Venezuela, el cual arrojó que al trabajar con relaciones $A/C \leq 0,4$ en ambientes tropicales como el de Venezuela, no se deben utilizar altos contenidos de microsilice, siendo el 10% un contenido suficiente y adecuado para garantizar una alta durabilidad.

En la mayoría de los trabajos de investigación realizados en este tema las limitaciones fundamentales se han tenido en la no disponibilidad del tiempo necesario para la modificación de las dosificaciones óptimas y así obtener las resistencias especificadas a 28 días de edad; por otra parte los investigadores se



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



han percatado de la necesidad de realizar estas variaciones cuando ya los trabajos están bastante avanzados e inclusive cuando ya han obtenido los resultados finales de sus investigaciones. Por ello nace la necesidad de plantear este trabajo partiendo del hecho de utilizar varios porcentajes de ambas adiciones, de modo que se obtenga la resistencia adecuada sin aumentar el costo de producción de una mezcla de concreto fabricada con los agregados tradicionales de nuestra región.

1.8.2.5. Universidad de Cartagena 2012. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LAS MICROFIBRAS DE PROPILENO VS LAS MICROSILICES SOBRE LAS RESISTENCIAS DE MEZCLAS DE CONCRETO DE 3000 Y 4000 PSI (Barrios & Sanes, 2013)

Se encontró que se presentaba un aumento de la resistencia a la compresión en las muestras de concreto al adicionar humo de sílice a las muestras de 3000 y 4000 psi, esto debido a que al ser el humo de sílice más fino que el cemento ocupaba los vacíos que se generaban de la mezcla heterogénea del concreto.

La adición de fibras de microsilice muestran un aumento progresivo en la resistencia a la compresión de las muestras de concreto, observado esto, en los resultados de los ensayos a compresión de estas muestras, aunque la adición inicial de 1% en peso de cemento no muestra resultados significativos de aumento de la misma, solo en las adiciones de 2% en adelante se observaron cambios importantes en la resistencia a la compresión, lo que nos lleva a concluir que puede ser un 2% a 3% de adición un porcentaje óptimo para el aumento de resistencia.

Los estudios realizados a la resistencia a la tracción de los especímenes de concreto demostraron que es posible lograr un aumento significativo en la resistencia a la tracción del mismo, pero no es recomendable ya que este aumento no lo hace un material óptimo para su exposición a esfuerzos de este tipo



1.9. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Investigadores de todos los campos de estudio llevan a cabo experimentos, por lo general con el objetivo de descubrir algo acerca de un proceso o sistema peculiar. En un sentido literal, un experimento es una prueba. En una perspectiva más formal, un experimento puede definirse como una prueba o serie de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema para observar e identificar las razones de los cambios que pudieran observarse en la respuesta de salida.

El cualquier experimento, los resultados y las conclusiones que puedan sacarse dependen en gran medida de la manera en que se recolectaron los datos, en respuesta a esto, los experimentos se usan para estudiar el desempeño de procesos o sistemas.

Dicho proceso puede por lo general visualizarse como una combinación de máquinas, métodos, personas u otros recursos que transforman cierta entrada en una salida que tiene una o más respuestas observables. Algunas variables del proceso son controlables y otras no lo son, aunque por motivos experimentales pueden serlo. La finalidad es mismo es principalmente determinar cuáles son las variables que tienen la mayor influencia sobre la respuesta de salida, cual es el ajuste de los factores controlables que tiene mayor influencia para que la salida este siempre cerca de los valores nominales esperados, cual es el ajuste de los factores que la respuesta de salida tenga una variabilidad reducida y cuál es el factor que tiene mayor influencia para que los efectos de las variables no controlables (en el caso que existan) sean mínimos en la respuesta. (Montgomery, 2004)

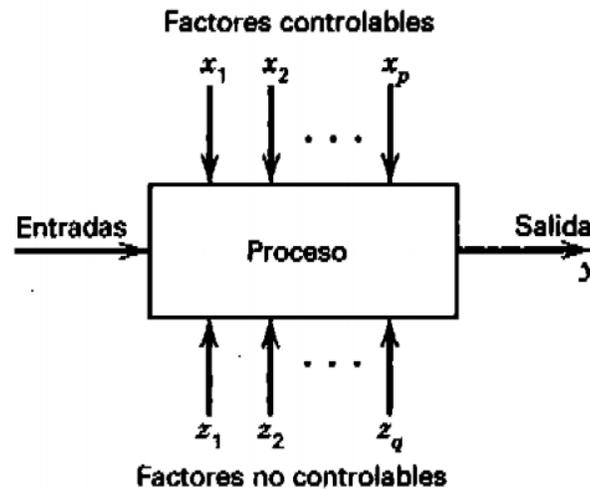


Ilustración 2. Modelo general de un proceso o sistema

1.9.1. DISEÑOS FACTORIALES

En muchos experimentos interviene el estudio de los efectos de dos o más factores. En general, los diseños factoriales son los más eficientes para este tipo de experimentos. Por diseño factorial se entiende que en cada ensayo o replica completa del experimento se investigan todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores.

El efecto de un factor se define como el cambio en la respuesta producido por un cambio del nivel del factor. Con frecuencia se le llama efecto principal por que se refiere a los factores de interés primario en el experimento (Montgomery, 2004)

1.9.1.1. Diseño factorial de dos factores

Es el tipo de diseño más simple de todos, en estos experimentos como su nombre lo indica se incluyen únicamente dos tipos de factores o conjunto de tratamientos y estos a su vez tienen diferentes niveles los cuales interactúan entre sí.



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



El modelo estadístico del diseño factorial de dos factores de tratamiento es el que sigue:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Ecuación 3 . Modelo estadístico del diseño de dos factores

Donde

α_i , es el efecto medio del nivel i del primer factor.

β_j , es el efecto medio del nivel j del segundo factor.

$(\alpha\beta)_{ij}$, es el efecto medio de la interacción del nivel i del primer factor y del nivel j del segundo factor.

ε_{ijk} , es el error aleatorio correspondiente a la medición ij en k sima repica.

Las hipótesis de interés para los tres factores del modelo anterior son:

- $H_0 = \text{Efecto del factor 1} = 0$
- $H_A = \text{Efecto del factor 1} \neq 0$
- $H_0 = \text{Efecto del factor 2} = 0$
- $H_A = \text{Efecto del factor 2} \neq 0$
- $H_0 = \text{Efecto del factor 1 x factor 2} = 0$
- $H_A = \text{Efecto del factor 1 x factor 2} \neq 0$



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Determinar la factibilidad técnica y económica del uso de las microfibras de polipropileno y de las microsílíce de humo de sílice, mediante un análisis profundo y estadístico sobre las propiedades de manejabilidad y resistencia de mezclas de concreto en estado fresco y endurecido, comparando los resultados con datos obtenidos de muestras patrón, fabricadas con agregado de triturado calizo, para resistencias de 3.000 y 4.000 psi, para así definir las dosificaciones óptimas de dichas adiciones en las mezclas de concreto.

2.2. ESPECIFICOS

- Preparar las mezclas con los materiales establecidos en los diseños, añadiendo los respectivos porcentajes de cada una de las adiciones, para realizar los ensayos de manejabilidad en estado fresco y preparar las muestras de cilindros y viguetas para los ensayos posteriores de resistencia a compresión, flexión y tracción indirecta.
- Aplicar un método de diseño de mezcla de concreto según las resistencias indicadas con triturado calizo de 3/4" de tamaño máximo y arena media, para establecer las proporciones a usar en la preparación de las muestras con diferentes porcentajes de cada una de las dos adiciones.
- Diseñar mediante herramientas estadísticas un experimento que con los parámetros adecuados y datos alimentados por los resultados obtenidos permita con bases matemáticas predecir y encontrar las dosificaciones óptimas separadas y combinadas de las adiciones y así comparar los resultados estadísticos con los experimentales.



***INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI***



- Analizar el efecto de las dos adiciones sobre las mezclas de concreto, en forma independiente, comparándolas con los resultados obtenidos en muestras patrones de cilindros o viguetas sin ningún tipo de adiciones.
- Determinar, basados en los análisis de los resultados obtenidos, el porcentaje óptimo de cada una de las dos adiciones para obtener los valores de resistencia especificados, y hallar el costo por m³ de mezcla respectivamente.
- Obtener una dosificación combinada óptima de humo de sílice y polipropileno que permita tener aumento en la resistencia a la compresión y tracción sin afectar el costo de producción ni las demás propiedades mecánicas de la mezcla



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



3. ALCANCE

3.1. LOCALICACION DEL AREA DEL PROYECTO

Para la elaboración del presente proyecto se utilizarán materiales tales como cemento, agregados y aditivos obtenidos en la ciudad de Cartagena, Además los ensayos serán realizados en el casco urbano de la ciudad en un laboratorio certificado que cuenta con los equipos necesarios para la correcta realización de los mismos.

Se tiene previsto un tiempo de realización no mayor a seis meses a partir del segundo periodo del año 2016, esto basándonos en el cronograma de actividades propuesto anteriormente en la propuesta.

Los recursos técnicos, físicos y económicos necesarios para materiales, transporte y asesoría por parte de personal calificado así como la infraestructura física y demás recursos son responsabilidad directa del investigador y deberá garantizar los mismos para la correcta realización de la presente investigación.

3.2. ALCANCE DEL PROYECTO

Al final de esta investigación se tendrá un conocimiento claro con respaldo estadístico, teórico y práctico de cómo afectan las adiciones de polipropileno y microsilice las propiedades mecánicas del concreto hidráulico teniendo como objetivo principal las dosificaciones óptimas para cada adición antes mencionada.



***INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI***



Se producirá un número de muestras tal que el experimento cumpla con los parámetros estadísticos y así los resultados obtenidos brinden veracidad, se realizarán los ensayos propuestos en los momentos adecuados y bajo las condiciones idóneas para así obtener los resultados esperados.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



4. METODOLOGIA

El tipo de investigación que se utilizó para la realización de este proyecto será de tipo mixta y se compone de dos etapas, una etapa en la que se obtuvo la documentación bibliográfica sobre los diseños de mezclas para concretos con agregados de la región y la dosificación de las microfibras de polipropileno y microsíllice, la segunda etapa fue experimental donde se llevó a cabo la fabricación de los cilindros de concreto y los ensayos pertinentes.

4.1. RECOPIACION DE LA INFORMACION PRIMARIA

En esta etapa el objetivo fue encontrar la bibliografía detallada para determinar las dosificaciones óptimas de las adiciones que serán utilizadas para la producción de concretos que cumplan con las especificaciones deseadas.

4.2. RECOPIACION DE LA INFORMACION SECUNDARIA

En esta instancia se procedió a estudiar las propiedades de los materiales que se utilizaron para la fabricación de los cilindros de concreto, se realizó luego el diseño de mezcla óptimo, luego de esto se dispuso a la fabricación de los cilindros en los cuales se variaron las dosificaciones de microfibras de microsíllice y polipropileno. Se ensayaron muestras a 7 y 28 días y se midió la resistencia de las mismas, se observó el comportamiento de esta y su aumento con respecto a la progresión de edad. Con la realización de los ensayos se comprobó la eficacia de estas adiciones sobre la resistencia del concreto.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



4.2.1. Clasificación de los agregados para la mezcla de concreto

Para la correcta clasificación de los agregados necesarios, tanto gruesos como finos, se buscó que estos cumplieran con las especificaciones necesarias, con el fin de garantizar la veracidad de los resultados y la calidad de la mezcla.

Para esto se realizó un análisis de su composición granulométrica de acuerdo a la norma NTC -77, la cual arrojó una curva de gradación que se muestra a continuación.

Esto permitió además de garantizar que los agregados tengan el tamaño y gradación adecuada, caracterizar los mismos de acuerdo a sus parámetros físicos, esta última caracterización es indispensable ya que influye directamente en la resistencia final de la mezcla de concreto.

4.2.2. Caracterización del cemento

El cemento es el elemento más importante de la mezcla ya que sirve de aglutinante de la misma, además, garantiza una mejoría de la densidad de la matriz de la mezcla lo que se refleja en una mayor resistencia final.

Para su caracterización se debieron realizar entonces dos ensayos, los cuales se encuentran parametrizados, el ensayo de finura descrito por la norma NTC – 226 y el ensayo de peso específico el cual se halla en la norma NTC – 221



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



4.3. DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETOS DE 3000 Y 4000 PSI

El diseño de la mezcla de concreto es un pilar vital de esta investigación ya que este es el que permitirá que las muestras como mínimo alcancen las resistencias pre establecidas, además, garantiza que las muestras están respaldadas por un estudio previo y una base científica

Mediante el diseño de mezcla se definen y se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

- El diseño de mezcla arroja el tamaño máximo de los áridos a usar, de acuerdo al tipo de estructura que se construirá, uso de la mezcla, tipo de colocación, etc. Para esta investigación el diseño de mezcla permitió encontrar el agregado grueso adecuado para garantizar la máxima resistencia a nivel práctico y no constructivo.
- También permite encontrar la relación agua cemento adecuado de acuerdo a la resistencia final esperada y el uso de la mezcla, lo que finalmente permite saber el volumen total de agua necesaria para la misma.
- Conociendo lo anterior es posible entonces determinar la cantidad de cemento necesario para la mezcla y la proporción final de materiales que garantizan la resistencia de diseño de la mezcla.



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



4.3.1. DISEÑO DE MEZCLA PARA RESITENCIA DE 3000 PSI

A continuación se muestran los datos de los materiales disponibles para la realización de la mezcla.

DATOS DE ENTRADA	
Agregado Fino	Arena Media Lavado
Agregado grueso	China Lisa de 1ra lavado (Canto Rodado)
Cemento	Cemento Portland tipo I
Resistencia de diseño	3.000 psi

Tabla 3. Datos iniciales de los materiales disponibles para la mezcla. Fuente: Autores

Luego de realizada la granulometría y caracterización de los agregaos finos y gruesos se obtuvieron los siguientes resultados

PARAMETROS AGREGADO FINO	
Módulo de finura	2.27
Peso unitario sueldo	1.524 gr/cm ³
Peso específico aparente	2.65 gr/cm ³
Peso específico Bulk	2.70 gr/cm ³

Tabla 4. Parámetros agregado fino. Fuente: Autores

PARAMETROS AGREGADO GRUESO	
Tamaño máximo	25.4 mm
Peso unitario sueldo	1.452 gr/cm ³
Peso específico aparente	2.68 gr/cm ³
Peso específico Bulk	2.71 gr/cm ³

Tabla 5. Parámetros agregado grueso. Fuente: Autores

Se prosiguió entonces a determinar los parámetros propios de la mezcla a producir

PARAMETROS MEZCLA	
Resistencia de diseño	3.000 psi
Peso específico cemento Portland	3.15 kg/cm ³
Asentamiento de diseño	100 mm (Cons. Media)
Relación agua/cemento	0.45
Contenido de aire atrapado	2.50%
Cantidad de agua por m³ de concreto	160 lt

Tabla 6. Parámetros mezcla. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Finalmente se realizan los cálculos para determinar las cantidades exactas de cada material y sus proporciones finales.

Peso del cemento (kg)	356
N° Bolsas de 50 kg	7
Cantidad de cemento (kg)	350.0
Volumen del cemento (m3)	0.111
Volumen de agua (m3)	0.160
Volumen de la pasta (m3)	0.271
Volumen de los agregados (m3)	0.729
Proporción agregados gruesos	50%
Proporción agregados finos	50%
Peso específico promedio de los agregados (kg/m3)	2.665
Peso agregados total (kg)	1942.49
Peso agregado fino (arena) (kg)	971.24
Peso agregado grueso (Canto rodado) (kg)	971.24
Proporciones en peso	1:2.78:2.78
Volumen suelto de cemento (m3)	0.28
Volumen suelto de arena (m3)	0.64
Volumen suelto de canto rodado (m3)	0.67
Proporciones en volumen	1:2.27:2.38

Tabla 7. Cálculos de cemento y volúmenes. Fuente: Autores

PROPORCIONES APROXIMADAS EN VOLUMEN	
CEMENTO	1
AGREGADO GRUESO	2
AGREGADO FINO	2

Tabla 8. Proporciones aproximadas en volumen. Fuente: Autores

4.3.2. DISEÑO DE MEZCLA PARA RESISTENCIA DE 4000 PSI

De igual se procedió a realizar el diseño de mezcla para una mezcla de 4000 psi, obtenido entonces los siguientes resultados



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



DATOS DE ENTRADA	
Agregado Fino	Arena Media Lavado
Agregado grueso	China Lisa de 1 lavado (Canto Rodado)
Cemento	Cemento Portland tipo I
Resistencia de diseño	4000 psi

Tabla 9. Datos entrada de diseño de mezcla de 4.000 psi. Fuente: Autores

PARAMETROS AGREGADO FINO	
Modula de finura	2.27
Peso unitario sueldo	1.524 gr/cm ³
Peso específico aparente	2.65 gr/cm ³
Peso específico Bulk	2.70 gr/cm ³

Tabla 10. Parámetros agregado fino. Fuente: Autores

PARAMETROS AGREGADO GRUESO	
Tamaño máximo	25.4 mm
Peso unitario sueldo	1.452 gr/cm ³
Peso específico aparente	2.68 gr/cm ³
Peso específico Bulk	2.71 gr/cm ³

Tabla 11. Parámetros agregado grueso. Fuente: Autores

PARAMETROS MEZCLA	
Resistencia de diseño	3.000 psi
Peso específico cemento Portland	3.15 kg/cm ³
Asentamiento de diseño	75 mm (Cons. Media)
Relación agua/cemento	0.40
Contenido de aire atrapado	2.0%
Cantidad de agua por m³ de concreto	180 lt

Tabla 12. Parámetros mezcla. Fuente: Autores

Peso del cemento (kg)	450
N° Bolsas de 50 kg	9
Cantidad de cemento (kg)	450.0
Volumen del cemento (m³)	0.143
Volumen de agua (m³)	0.180
Volumen de aire	0.045
Volumen de la pasta (m³)	0.368
Volumen de los agregados (m³)	0.632
Proporción agregados gruesos	50%
Proporción agregados finos	50%



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Peso específico promedio de los agregados (kg/m³)	2.665
Peso agregados total (kg)	1684.66
Peso agregado fino (arena) (kg)	842.33
Peso agregado grueso (Canto rodado) (kg)	842.33
Proporciones en peso	1:1.87:1.87
Volumen suelto de cemento (m³)	0.36
Volumen suelto de arena (m³)	0.55
Volumen suelto de canto rodado (m³)	0.58
Proporciones en volumen	1:1.53:1.6

Tabla 13. Cálculos de cemento y volúmenes. Fuente: Autores

PROPORCIONES APROXIMADAS EN VOLUMEN	
CEMENTO	1
AGREGADO GRUESO	1.75
AGREGADO FINO	1.75

Tabla 14. Proporciones aproximadas en volumen. Fuente: Autores

4.4. PREPARACIÓN Y PRODUCCIÓN DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO

Para esta investigación se realizaron un total de 120 especímenes con el fin de tener un patrón estadístico adecuado y que permitiera obtener resultados veraces y aplicables a la población de estudio.

Se realizaron muestras variando las dosificaciones de microsilice y polipropileno, así como muestras patrón sin adición alguna. Además se produjeron especímenes con la combinación del porcentaje de adición óptima de polipropileno y sílice.

Las muestras de concreto se realizaron siguiendo las instrucciones de la norma NTC – 1377 y se realizaron pruebas de manejabilidad para cumplir con los estándares de calidad propuestos en esta investigación.

A continuación se muestra la clasificación de los especímenes de acuerdo a su tipo de adición y el porcentaje de la misma.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Muestra	F'c de Diseño	Proporción	Dosificación % microsíllice	Número de muestras
M1 – 3000P	3000 psi	1;2;2	0	6
M1 - 3000(1)	3000 psi	1;2;2	1	6
M1 - 3000(2)	3000 psi	1;2;2	2	6
M1 - 3000(3)	3000 psi	1;2;2	3	6
M1 - 3000(4)	3000 psi	1;2;2	4	6
M1 – 4000P	4000 psi	1;1.75;1.75	0	6
M1 - 4000(1)	4000 psi	1;1.75;1.75	1	6
M1 - 4000(2)	4000 psi	1;1.75;1.75	2	6
M1 - 4000(3)	4000 psi	1;1.75;1.75	3	6
M1 - 4000(4)	4000 psi	1;1.75;1.75	4	6

Tabla 15. Preparación de muestras de concreto patrón y microsíllice de 3000 y 4000 psi.

Fuente: Autores

Muestra	F'c de Diseño	Proporción	Dosificación % polipropileno	Número de muestras
M2 - 3000(1)	3000 psi	1;2;2	1	6
M2 - 3000(2)	3000 psi	1;2;2	2	6
M2 - 3000(3)	3000 psi	1;2;2	3	6
M2 - 3000(4)	3000 psi	1;2;2	4	6
M2 - 4000(1)	4000 psi	1;1.75;1.75	1	6
M2 - 4000(2)	4000 psi	1;1.75;1.75	2	6
M2 - 4000(3)	4000 psi	1;1.75;1.75	3	6
M2 - 4000(4)	4000 psi	1;1.75;1.75	4	6

Tabla 16. Preparación de muestras de concreto con adición de polipropileno de 3000 y 4000 psi. Fuente: Autores

MUESTRA	RESISTENCIA	DOSIFICACION
M – 3000(C)	3000 PSI	%OPRIMO DE MICROSILICE – %OPTIMO DE POLIPROPILENO
M – 4000(C)	4000 PSI	%OPRIMO DE MICROSILICE – %OPTIMO DE POLIPROPILENO

Tabla 17. Preparación de muestras de concreto con adición de polipropileno y microsíllice de 3000 y 4000 psi. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



4.5. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE ACUERDO A LA NORMA NTC – 673

Este ensayo consiste en aplicar una carga axial en la muestra de concreto, dicha carga aumentara paulatinamente hasta que la muestra falle, entiéndase por falla, el daño a la integridad de la muestra, ya sea figuración, rotura parcial o total del cilindro, luego entonces se procede a la lectura de la carga máxima soportada por el cilindro de concreto y de acuerdo a la teoría se determina la presión (resistencia final) del cilindro en base a su geometría la cual se encuentra parametrizada.)

Los ensayos se iniciaron sobre muestras patrón de concreto sin adición con resistencia de diseño de 3000 y 4000 psi para determinar así si el diseño de mezcla cumple con las resistencias calculadas. Estas serán usadas como parámetro de comparación con las muestras con los diferentes tipos y porcentajes de adición.

Con el fin de determinar la resistencia inicial y final de los especímenes se realizaron ensayos solo a los 7 días y 28 días de edad, se esperó entonces que los especímenes cumplieran a los 7 días con la resistencia esperada del 70% de la resistencia final y el 100% de la misma a los 28 días de edad.

Como se mencionó anteriormente se realizaron 6 muestras de cada caracterización de las cuales 4 fueron usadas para este ensayo y las dos restantes fueron usadas para el ensayo de tracción indirecta del cual se profundizará más adelante en esta investigación.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



4.6. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Luego de realizados los ensayos a todas las muestras a los 7 y 28 días de producidas se llevó a cabo el análisis estadístico de los resultados, para ello, se propusieron los siguientes experimentos:

4.6.1. Muestra de 3000 psi con adición de polipropileno y microsilice

Para este experimento se realizaron dos corridas con edades de 7 y 28 días respectivamente y se obtuvieron las resistencias a esas edades, entonces, con dichas resistencias se encontró si existía influencia o no por parte de la adición de polipropileno y micro sílice en la resistencia final de las muestras de concreto a los 7 y 28 días de edad

El modelo estadístico del diseño de experimentos antes mencionado es el que sigue:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Ecuación 4 . Modelo estadístico del diseño para muestras de 3000 psi con adición de polipropileno y microsilice

Donde

y_{ijk} , resistencia final para muestras de 3000 psi a los 7 y 28 días

α_i , es el efecto medio del nivel i de la adición de polipropileno a los 7 y 28 días.

β_j , es el efecto medio del nivel j del microsilice a los 7 y 28 días.

$(\alpha\beta)_{ij}$, es el efecto medio de la interacción del nivel i del polipropileno y del nivel j del humo de sílice.

ε_{ijk} , es el error aleatorio correspondiente a la medición ij en k sima repica.

Las hipótesis de interés para los tres factores del modelo anterior son:

- H_0 = Efecto de polipropileno = 0
- H_A = Efecto de polipropileno \neq 0



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



- H_0 = Efecto del microsilice = 0
- H_A = Efecto del microsilice $\neq 0$
- H_0 = Efecto del polipropileno con el microsilice = 0
- H_A = Efecto del polipropileno con el microsilice $\neq 0$

4.6.2. Muestra de 4000 psi con adición de polipropileno y microsilice

Para este experimento se realizaron dos corridas con edades de 7 y 28 días respectivamente y se obtuvieron las resistencias a esas edades, entonces, con dichas resistencias se encontró si existía influencia o no por parte de la adición de polipropileno y micro sílice en la resistencia final de las muestras de concreto a los 7 y 28 días de edad

El modelo estadístico del diseño de experimentos antes mencionado es el que sigue:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Ecuación 5 . Modelo estadístico del diseño para muestras de 4000 psi con adición de polipropileno y microsilice

Donde

y_{ijk} , resistencia final para muestras de 4000 psi a los 7 y 28 días

α_i , es el efecto medio del nivel i de la adición de polipropileno a los 7 y 28 días.

β_j , es el efecto medio del nivel j del microsilice a los 7 y 28 días.

$(\alpha\beta)_{ij}$, es el efecto medio de la interacción del nivel i del polipropileno y del nivel j del humo de sílice.

ε_{ijk} , es el error aleatorio correspondiente a la medición ij en k sima repica.

Las hipótesis de interés para los tres factores del modelo anterior son:

- H_0 = Efecto de polipropileno = 0
- H_A = Efecto de polipropileno $\neq 0$



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



- $H_0 = \text{Efecto del microsíllice} = 0$
- $H_A = \text{Efecto del microsíllice} \neq 0$
- $H_0 = \text{Efecto del polipropileno con el microsíllice} = 0$
- $H_A = \text{Efecto del polipropileno con el microsíllice} \neq 0$

Ambos experimentos fueron sometidos a un análisis de varianza mediante el uso del software Statgraphics Centurion Ver. 16, el cual permite el análisis de los datos del experimento y muestra resultados veraces que permiten encontrar finalmente si existen o no diferencias significativas en las resistencias finales con adición de microsíllice y polipropileno de 3000 y 4000 psi



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO A COMPRESIÓN

Sabemos que la resistencia es la propiedad más importante en el concreto y esta es directamente proporcional a su edad, esto quiere decir que a mayor edad de fundido el espécimen más resistente será. La manera más fácil de determinar la resistencia a la compresión del concreto en función a su edad es mediante el ensayo de cilindros a la compresión mencionado antes en este documento, gracias a este es posible controlar correctamente las mezclas y determinar si cumplen o no con los estándares de resistencia de diseño.

Para esta prueba se usaron dos cilindros de cada muestra y se ensayaron a edades de 7 y 28 días respectivamente (Ver Anexo).

A continuación mostramos los resultados de estas pruebas para cada adición y la muestra patrón

3000 PSI 7 DIAS										
RESISTENCIA	MICROSILICE					POLIPROPILENO				
	0%	1%	2%	3%	4%	0%	1%	2%	3%	4%
	2230.4	2246.6	2284.9	2240.9	2217.5	2230.4	2049.062	2071.94	2320.928	2306.377
	2230.4	2274.0	2296.7	2222.3	2249.8	2230.4	2054.155	2091.342	2290.209	2311.228
3000 PSI 28 DIAS										
RESISTENCIA	MICROSILICE					POLIPROPILENO				
	0%	1%	2%	3%	4%	0%	1%	2%	3%	4%
	3000.8	3032.3	3226.3	2904.6	3013.7	3000.8	2896.512	2998.371	3130.949	3118.015
	3034.7	3029.9	3172.2	2961.2	3052.5	3034.7	2909.447	3000.796	3085.679	3109.122
4000 PSI 7 DIAS										
RESISTENCIA	MICROSILICE					POLIPROPILENO				
	0%	1%	2%	3%	4%	0%	1%	2%	3%	4%
	3076.8	3164.9	3138.2	3065.5	2901.4	3076.8	2846.391	2925.615	3154.393	3162.477
	3058.2	3155.2	3130.9	3081.6	2874.7	3058.2	2941.783	2944.208	3150.351	3174.603
4000 PSI 28 DIAS										
RESISTENCIA	MICROSILICE					POLIPROPILENO				
	0%	1%	2%	3%	4%	0%	1%	2%	3%	4%
	4050.1	4170.6	4120.4	4052.5	3796.3	4050.1	3966.839	3966.839	4129.328	4140.646
	4035.6	4153.6	4126.9	4048.5	3882.8	4035.6	3970.073	3983.816	4121.244	4153.581



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Tabla 18 Resistencias obtenidas de las diferentes muestras. Fuente: Autores

A continuación mostramos las resistencias detalladas de cada grupo de muestras

MUESTRA	EDAD (DIAS)		
	0	7	28
M1 - 3000(N)	0	2230	3018
M1 - 3000(1)	0	2260	3031
M1 - 3000(2)	0	2291	3199
M1 - 3000(3)	0	2232	2933
M1 - 3000(4)	0	2234	3033

Tabla 19 Resistencias detallada para concreto de 3000 psi con adición de microsilice.
Fuente: Autores

MUESTRA	EDAD (DIAS)		
	0	7	28
M1 - 4000(N)	0	3067	4043
M1 - 4000(1)	0	2993	3500
M1 - 4000(2)	0	3135	4124
M1 - 4000(3)	0	3002	4034
M1 - 4000(4)	0	2888	3840

Tabla 20 Resistencias detallada para concreto de 4000 psi con adición de microsilice.
Fuente: Autores

MUESTRA	EDAD (DIAS)		
	0	7	28
TENDENCIA	0	2250	3000
M1 - 3000(N)	0	2230	3018
M2 - 3000(1)	0	2052	2903
M2 - 3000(2)	0	2082	3000
M2 - 3000(3)	0	2306	3108
M2 - 3000(4)	0	2309	3114

Tabla 21 Resistencias detallada para concreto de 3000 psi con adición de polipropileno.
Fuente: Autores



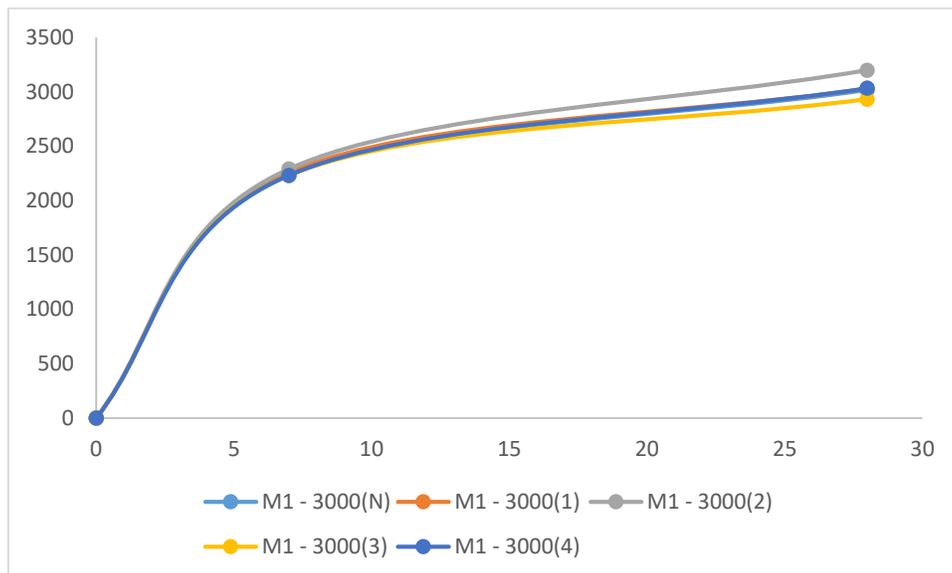
INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



RESISTENCIA PROMEDIO 4000 PSI POLIPROPILENO			
MUESTRA	EDAD (DIAS)		
	0	7	28
TENDENCIA	0	3000	4000
M1 - 4000(N)	0	3067	4043
M1 - 4000(1)	0	2894	3968
M1 - 4000(2)	0	2935	3975
M1 - 4000(3)	0	3002	4027
M1 - 4000(4)	0	2609	3878

Tabla 22 Resistencias detallada para concreto de 4000 psi con adición de polipropileno.

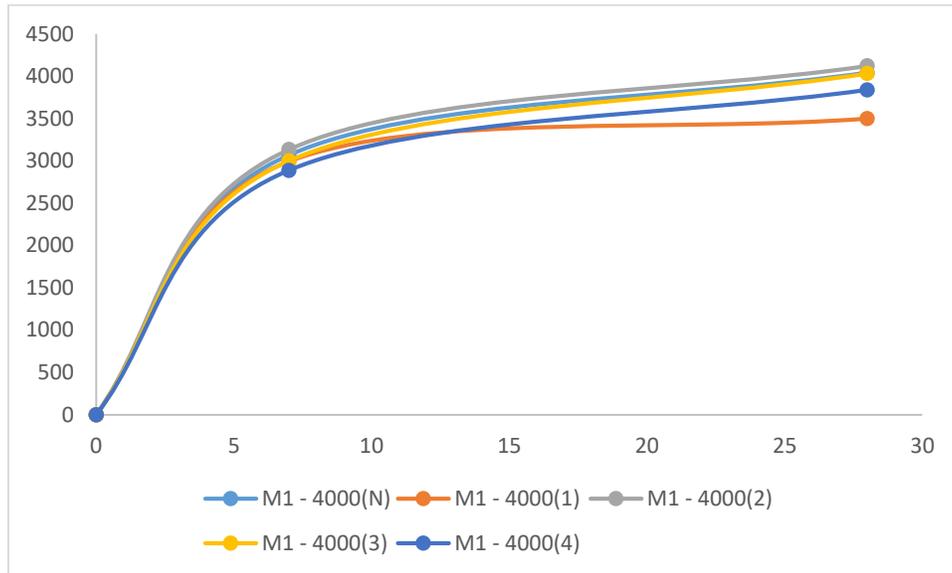
Fuente: Autores



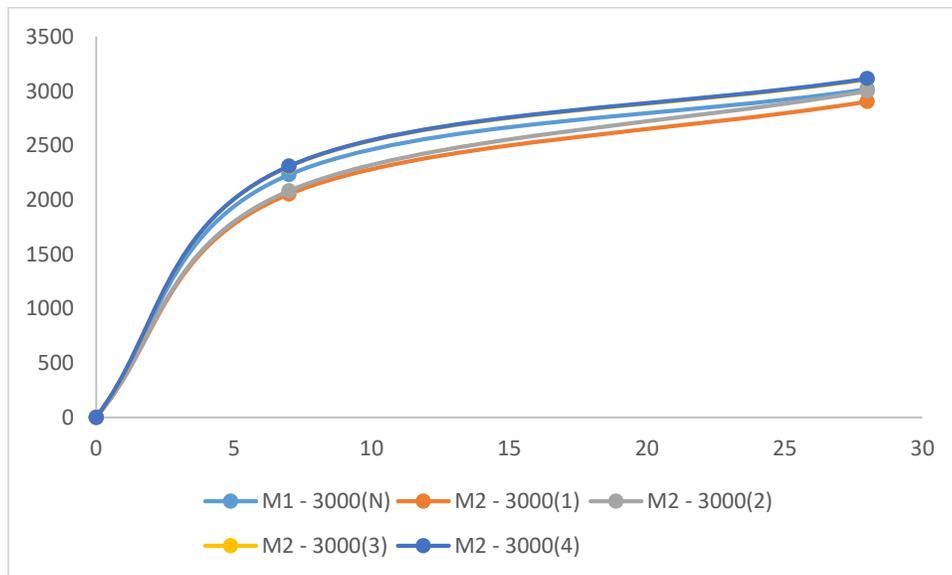
Grafica 3. Curvas de resistencia a la compresión para muestras de 3000 psi y adición de microsilice. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



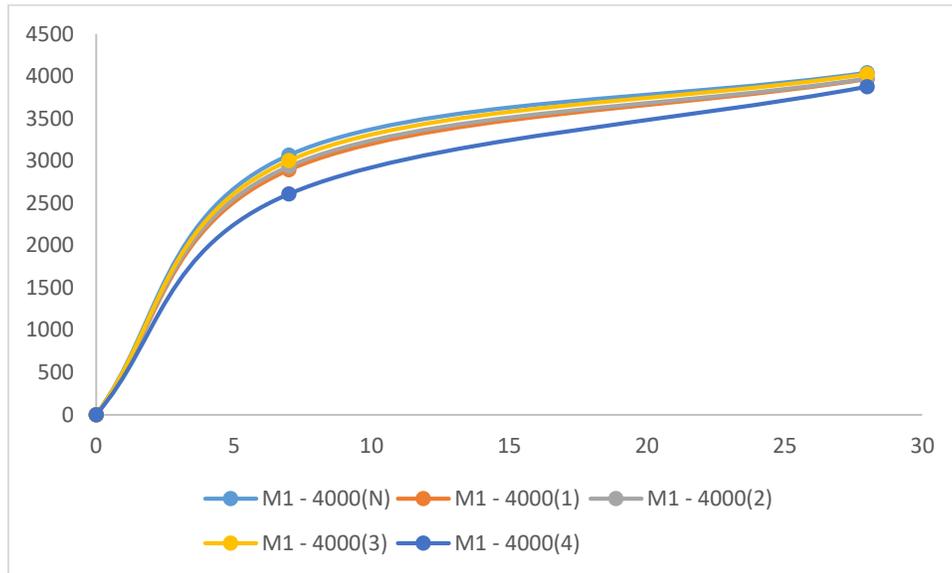
Grafica 4. Curvas de resistencia a la compresión para muestras de 4000 psi y adición de microsilice. Fuente: Autores



Grafica 5. Curvas de resistencia a la compresión para muestras de 3000 psi y adición de polipropileno. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Grafica 6. Curvas de resistencia a la compresión para muestras de 4000 psi y adición de polipropileno. Fuente: Autores

Observamos entonces que los resultados se encuentran muy cerca uno del otro por lo cual a simple vista no es posible determinar si existe o no una diferencia significativa positiva o negativa entre cada muestra y porcentaje de adición, es entonces cuando recurrimos al análisis estadístico el cual no da una precisión mayor para la interpretación de resultados.

5.2. ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS

A continuación se muestran los análisis estadísticos de las muestras ensayadas con sus diferentes porcentajes de adición, para esto se hizo uso del software StatGraphics Ver. 16

Para esto inicialmente se plantearan 8 experimentos diferentes con un solo factor categórico y luego en base a los resultados se determinara que porcentajes de adición se usaran para los ensayos combinados



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



5.2.1. Muestras de 3000 psi a 7 días con adición de microsilice

Inicialmente presentamos el análisis de varianza de las muestras ensayadas a 7 días con adición de microsilice y resistencia de 3000 psi

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	5517.32	4	1379.33	6.05	0.0373
Intra grupos	1139.63	5	227.925		
Total (Corr.)	6656.94	9			

Tabla 23. Análisis de varianza para muestras ensayadas a 7 días y adición de microsilice con resistencia de 3000 psi. Fuente: Autores

Observamos que el P-value entre los cuatro porcentajes es menor al 5% existe una diferencia significativa entre las resistencias evaluadas, esto quiere decir que por lo menos un porcentaje de adición de microsilice a los 7 días está generando resistencias significativamente diferentes (mayores o menores) que las muestras patrón.

Para determinar que grupos tienen o no diferencia significativa procedemos a usar la prueba de LSD con un nivel de confianza del 95%

<i>RESITENCIA</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	2	2230.4	X
3	2	2231.6	X
4	2	2233.65	X
1	2	2260.3	XX
2	2	2290.8	X

Tabla 24. Prueba LSD para muestras con porcentaje de microsilice, edad de 7 días y resistencia de 3000 psi. Fuente: Autores

Nos damos cuenta que solo dos muestras difieren significativamente de la resistencia patrón. Con adiciones de 4% y 3% de microsilice se obtienen aumentos de resistencias considerables pero no estadísticamente determinantes, caso contrario sucede con las adiciones de 1% y 2% los cuales si presentan una



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



diferencia significativa por encima de la resistencia patrón. Esto es de vital importancia porque nos permite concentrarnos específicamente en el comportamiento de estas muestras a 28 días de resistencia.

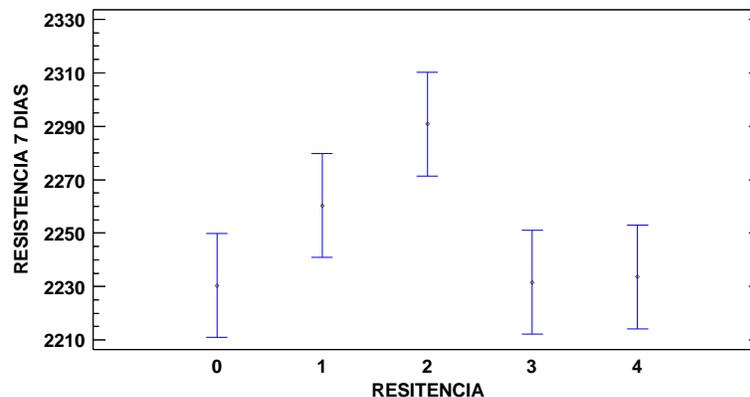
Para determinar si existe o no una diferencia de resistencias procedemos a revisar el contraste uno a uno de cada porcentaje, como se muestra a continuación

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1		-29.9	38.8087
0 - 2	*	-60.4	38.8087
0 - 3		-1.2	38.8087
0 - 4		-3.25	38.8087
1 - 2		-30.5	38.8087
1 - 3		28.7	38.8087
1 - 4		26.65	38.8087
2 - 3	*	59.2	38.8087
2 - 4	*	57.15	38.8087
3 - 4		-2.05	38.8087

Tabla 25. Detallamiento de diferencias muestras con porcentaje de microsíllice, edad de 7 días y resistencia de 3000 psi. Fuente: Autores

Observamos que las celdas marcadas con * muestran que existe una diferencia significativa por encima o por debajo del límite, nos damos cuenta entonces y confirmamos que existe una mayor resistencia significativa con adiciones con porcentajes de 1% y 2%

Medias y 95.0% de Fisher LSD





INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Grafica 7. Diagrama de medias de Fisher para 7 días de edad y resistencia de 3000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores

Gráficamente podemos observar más fácilmente las diferencias significativas que existen y el aumento paulatino que se presenta con adiciones del 1% y 2% y luego al aumentar más el porcentaje se presenta una disminución de resistencia que aunque es mayor que la resistencia patrón, no representa un aumento significativo.

5.2.2. Muestras de 3000 psi a 28 días con adición de microsilice

Luego de evaluadas las muestras a 7 días se procedió a analizar los resultados de las muestras con 28 días de edad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	74826.2	4	18706.5	21.28	0.0024
Intra grupos	4395.39	5	879.078		
Total (Corr.)	79221.6	9			

Tabla 26. Análisis de varianza para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

El análisis de varianza nos muestra nuevamente que existen diferencias significativas entre las resistencias obtenidas con los diferentes porcentajes de adición de microsilice, lo cual es coherente con los resultados obtenidos a los 7 días de edad

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
3	2	2932.9	X
0	2	3017.75	X
1	2	3031.1	X
4	2	3033.1	X
2	2	3199.25	X

Tabla 27. Prueba LSD de Fisher para muestras de 3000 psi con adición de microsilice y 28 días de edad. Fuente: Autores

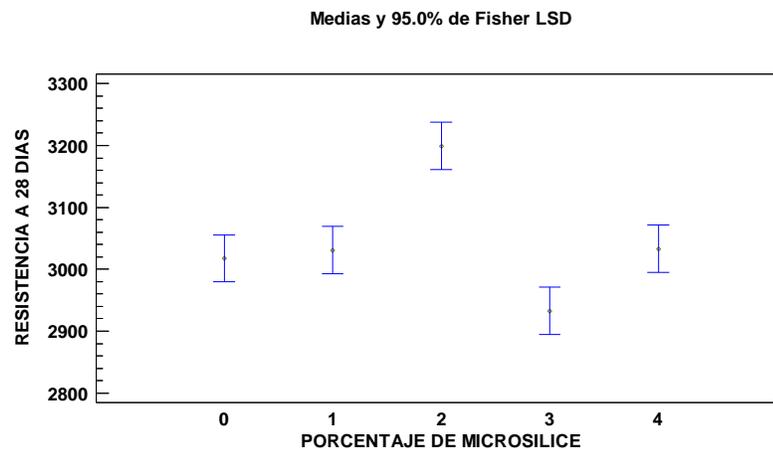
La prueba de Fisher nos muestra nuevamente que para un nivel de confianza del 95% la mejor adición de microsilice para resistencias de 3000 psi a los 28 días de



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



edad es el 1 y 2%, pero en esta ocasión el 1% de adición no presenta una diferencia significativa con la muestra patrón, es probable que esta disminución de resistencia, aunque siga siendo mayor que la muestra patrón sea debido a algún problema de manipulación o curado.



Grafica 8. Diagrama de medias de Fisher para 28 días de edad y resistencia de 3000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores

Gráficamente observamos el aumento significativo de resistencia final con el 2% de adición de microsilice a los 28 días de edad.

Para las muestras de 3000 psi con adición de microsilice se encontró entonces que con porcentajes entre el 1% y 2% se obtuvieron las mejores resistencias a los 28 días de edad. Esto es muy seguramente debido a que al ser el microsilice una sustancia más fina que el cemento, disminuye su plasticidad y no le permite mantener la relación agua cemento adecuada para alcanzar las altas resistencias esperadas.

Es posible que con una relación agua cemento diferente en la que se tenga en cuenta las adiciones de microsilice se puedan obtener resultados más óptimos que permitan la producción de mezclas con altas resistencias



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



5.2.3. Muestras de 3000 psi a 7 días con adición de polipropileno

De igual que con las muestras de microsilice procedimos a evaluar las muestras de polipropileno con 7 días de edad y resistencia de diseño de 3000 psi

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	119676.	4	29919.0	218.45	0.0000
Intra grupos	684.803	5	136.961		
Total (Corr.)	120361.	9			

Tabla 28. Análisis de varianza para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

Observamos que nuevamente el P-value es menor al 5% lo que nos indica que existen diferencias significativas por encima o por debajo de la muestra patrón.

Procedemos entonces a verificar a detalle qué porcentaje es el que presenta el mejor comportamiento.

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	2	2051.61	X
2	2	2081.64	X
0	2	2230.4	X
3	2	2305.56	X
4	2	2308.8	X

Tabla 29. Prueba LSD para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

La prueba de Fisher nos muestra un resultado bastante curioso, nos está indicando que existen diferencias significativas por debajo y por encima de la resistencia patrón. Para adiciones de 1 y 2% observamos que las muestras no alcanzan la resistencia de diseño a los 7 días y se encuentran por debajo de la muestra patrón y para porcentajes de 3 y 4% las resistencias son mayores.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI

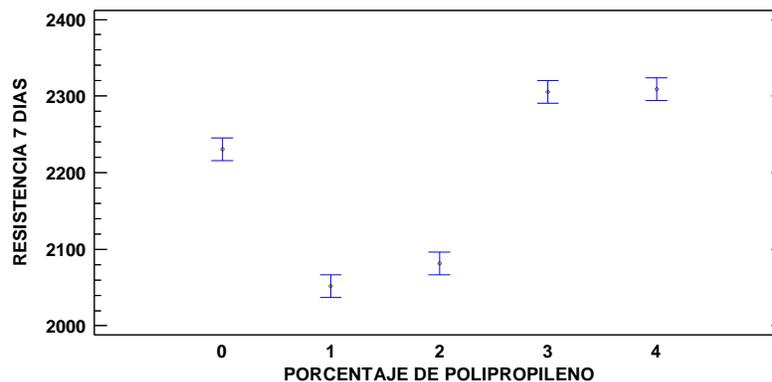


Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	178.795	30.0836
0 - 2	*	148.76	30.0836
0 - 3	*	-75.16	30.0836
0 - 4	*	-78.4	30.0836
1 - 2		-30.035	30.0836
1 - 3	*	-253.955	30.0836
1 - 4	*	-257.195	30.0836
2 - 3	*	-223.92	30.0836
2 - 4	*	-227.16	30.0836
3 - 4		-3.24	30.0836

Tabla 30. Detallamiento de diferencias muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

Los resultados presentados confirman las grandes diferencias que existen entre los porcentajes nos centraremos en los resultados que están por encima de la muestra patrón los cuales son bastante prometedores ya que están el aumento es mucho mayor que con el microsilice pero con una adición en porcentaje mucho mayor.

Medias y 95.0% de Fisher LSD



Grafica 9. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

Gráficamente observamos la gran diferencia de los resultados los cuales a mayor adición de polipropileno mayor es la resistencia que se obtiene. Pero no se observa una diferencia significativa entre las muestras con 3% y 4%.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



5.2.4. Muestras de 3000 psi a 28 días con adición de polipropileno

Así como con las muestras de microsilice procedimos a evaluar las muestras de 3000 psi con adición de polipropileno a los 28 días de edad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	60630.7	4	15157.7	43.93	0.0004
Intra grupos	1725.35	5	345.071		
Total (Corr.)	62356.1	9			

Tabla 31. Análisis de varianza para muestras de 3000 psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

Observamos nuevamente que se presentan diferencias significativas en las resistencias finales a los 28 días de muestras con porcentajes de polipropileno y resistencia de diseño de 3000 psi.

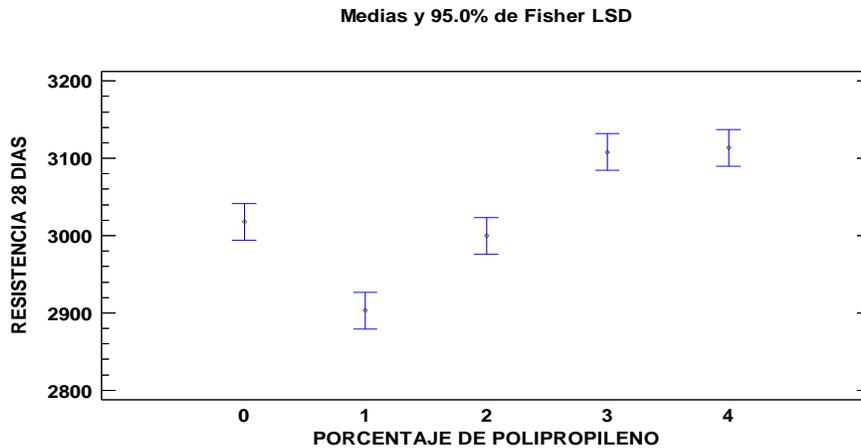
Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1	2	2902.98	X
2	2	2999.58	X
0	2	3017.75	X
3	2	3108.31	X
4	2	3113.57	X

Tabla 32. Prueba LSD para muestras de 3000 psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

Nuevamente la prueba LSD de Fisher al 95% de nivel de confianza nos muestra que los mejores resultados siguen presentándose con porcentajes de adición del 3% y 4% siendo este último el de mejor comportamiento. De igual forma con el 1% y 2% se presentan resistencias menores a la patrón lo cual hace estas muestras inaceptables para el uso en el campo.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Grafica 10. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 3000 psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

Nuevamente observamos que los porcentajes los mayores valores de resistencia que se obtienen al adicional polipropileno a muestras de 3000 psi son el 3% y 4%, observamos también que no existe una diferencia significativa entre estos dos porcentajes por lo cual es acertado decir que el valor óptimo de esta adición para un aumento de resistencia está en el orden del 2% y 3%.

Las fibras de polipropileno al tener una mayor resistencia a la tracción y al choque no poseen las mismas propiedades de finura que el microsilice por lo cual se necesita un mayor porcentaje de ellas para generar un aumento de resistencia considerable.

Así pues para mezclas de 3000 psi con adiciones de polipropileno y microsilice podemos afirmar que las adiciones óptimas de estas están en el rango (2% - 3%) y (1% - 2%) respectivamente.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



5.2.5. Muestras de 4000 psi a 7 días con adición de microsilice

Luego de realizados los ensayos y analizados los resultados para muestras de 3000 psi procedemos entonces a realizar el análisis estadístico de los resultados obtenidos para muestras de 4000 psi con adición microsilice.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	90524.0	4	22631.0	154.43	0.0000
Intra grupos	732.72	5	146.544		
Total (Corr.)	91256.8	9			

Tabla 33. Análisis de Varianza para muestras de 7 días de edad y adición de microsilice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)

Observamos nuevamente que al igual que con las muestras de 3000 psi existe una diferencia significativa entre las medias de los valores de Resistencia de 4000 psi con adición de microsilice ya que le P-value de la razón F es menor al 5%.

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
4	2	2888.05	X
0	2	3067.5	X
3	2	3073.55	X
2	2	3134.55	X
1	2	3160.05	X

Tabla 34. Prueba de rangos múltiples LSD para muestras de 7 días de edad y adición de microsilice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)

La prueba de rangos múltiples de Fisher nos muestra que existen tres grupos homogéneos en los cuales con un nivel de confianza del 95% existen diferencias en las medias de las muestras.

Nos damos cuenta entonces que nuevamente con las adiciones de 1% y 2% se obtienen los mayores valores de resistencia.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI

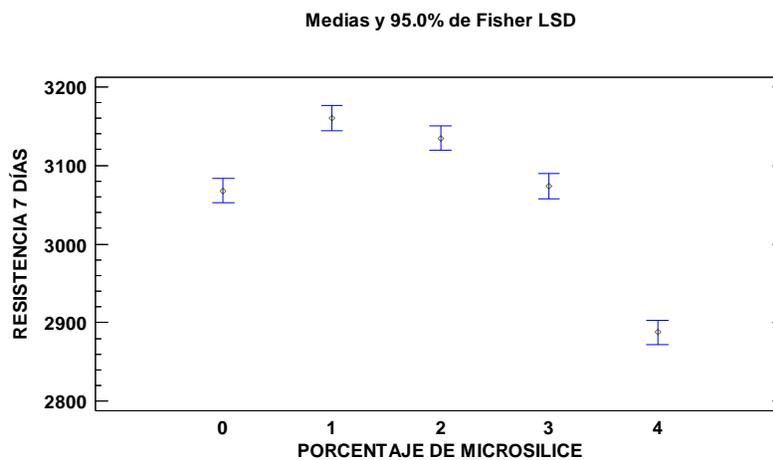


Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 1	*	-92.55	31.1184
0 - 2	*	-67.05	31.1184
0 - 3		-6.05	31.1184
0 - 4	*	179.45	31.1184
1 - 2		25.5	31.1184
1 - 3	*	86.5	31.1184
1 - 4	*	272.0	31.1184
2 - 3	*	61.0	31.1184
2 - 4	*	246.5	31.1184
3 - 4	*	185.5	31.1184

Tabla 35. Contraste de las medias para muestras de 7 días de edad y adición de microsíllice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)

Si miramos más detalladamente la comparación de las medias de las muestras observamos más claramente que nuevamente las muestras de 1% y 2% generan un aumento considerable de resistencia.

Si observamos el gráfico de medias podemos ver el aumento antes mencionado, aunque curiosamente las muestras con 4% de adición presentan una caída de resistencia considerable generando incluso que no alcancen los límites mínimos de resistencia.



Gráfica 11. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 3000 psi con 7 días de edad y adición de microsíllice. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



5.2.6. Muestras de 4000 psi a 7 días con adición de polipropileno

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	124351.	4	31087.8	31.22	0.0010
Intra grupos	4978.08	5	995.617		
Total (Corr.)	129329.	9			

Tabla 36. Análisis de Varianza para muestras de 7 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)

Al realizar el análisis a los 7 días con resistencia de 4000 psi pero esta vez para adiciones de polipropileno encontramos con un nivel de confianza del 95% que existen diferencias significativas entre las medias de resistencia con los diferentes porcentajes.

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	2	2894.1	X
2	2	2934.9	X
0	2	3067.5	X
3	2	3152.37	X
4	2	3168.53	X

Tabla 37. Prueba de rangos múltiples para muestras de 7 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)

Observamos nuevamente y al igual que con las muestras de 3000 psi que existen 3 grupos homogéneos los cuales muestran medias de resistencia por encima y por debajo de la muestra patrón, además, nuevamente los porcentajes que muestran la mejoría de resistencia son 3% y 4% respectivamente.

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
0 - 1	*	173.4	81.1108
0 - 2	*	132.595	81.1108
0 - 3	*	-84.87	81.1108
0 - 4	*	-101.035	81.1108
1 - 2		-40.805	81.1108
1 - 3	*	-258.27	81.1108
1 - 4	*	-274.435	81.1108
2 - 3	*	-217.465	81.1108
2 - 4	*	-233.63	81.1108
3 - 4		-16.165	81.1108

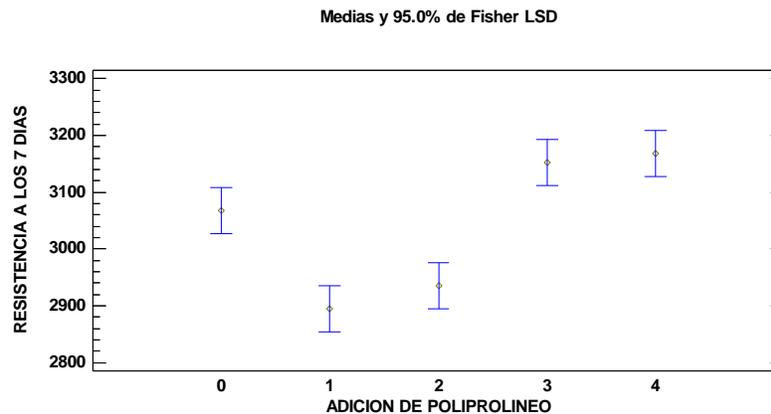
Tabla 38. Prueba de rangos múltiples para muestras de 7 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Revisando entonces el contraste de las medias confirmamos que con un 95% de nivel de confianza existen grandes diferencias significativas entre las medias de resistencia. Las muestras con adición de 1% y 2% no alcanzas las resistencias de diseño esperadas lo cual nos indica que estos porcentajes de adición son perjudiciales para la resistencia final del concreto.



Grafica 12. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 4000 psi con 7 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

Gráficamente es más fácil observar el aumento y disminución de la resistencia causado por los diferentes porcentajes de adición. Nuevamente nos damos cuenta que la diferencia entre las resistencias obtenidas con adiciones de 3% y 4% respectivamente es muy poca, pero comparada con la resistencia patrón es mucho mayor.

5.2.7. Muestras de 4000 psi a 28 días con adición de microsilice

Luego de realizados los ensayos y análisis de los resultados obtenidos a los 7 días de edad realizamos el mismo procedimiento para las muestras con adición de microsilice con 28 días de edad.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Al igual que con los experimentos analizados anteriormente estos fueron realizados con un nivel de confianza del 95%

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	124269.	4	31067.4	38.64	0.0006
Intra grupos	4019.87	5	803.975		
Total (Corr.)	128289.	9			

Tabla 39. Análisis de varianza para muestras de 28 días de edad y adición de microsilice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)

Observamos nuevamente que el P-valor de la razón F es menor a 0.05, lo que nos indica que existen diferencias significativas en las resistencias de las muestras de 4000 psi ensayadas a los 28 días, debemos entonces proceder a verificar la prueba de múltiples rangos para determinar que porcentajes generan las diferencias significativas, se espera entonces que las mejores resistencias se obtengan con el 1% y 2% de adición, esto de acuerdo a los resultados obtenidos con las muestras de 3000 psi a los 7 y 28 días y la de 400 psi a los 7 días de edad.

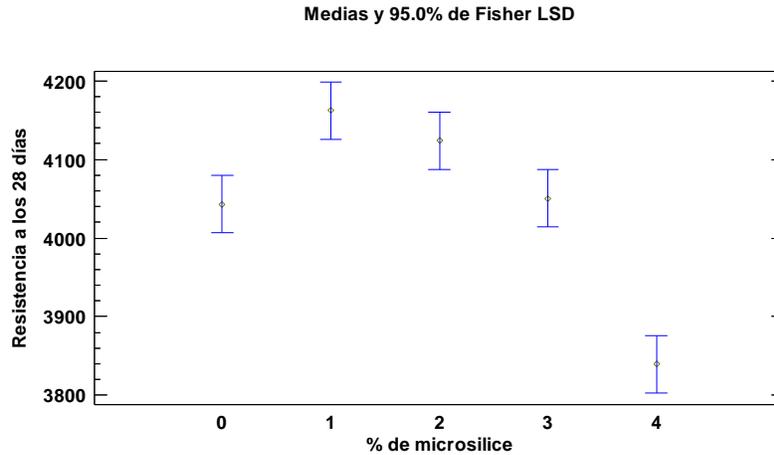
Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
4	2	3839.55	X
0	2	4042.85	X
3	2	4050.5	X
2	2	4123.65	X
1	2	4162.1	X

Tabla 40. Prueba de múltiples rangos para muestras de 28 días de edad y adición de microsilice con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)

Nos damos cuenta que al igual que con las muestras antes analizadas con adición de microsilice los mejores resultados se obtienen con las muestras de 1% y 2%, la muestra con adición de 3% aunque muestra un aumento de resistencia nuevamente esta diferencia significativa estadísticamente. Curiosamente para las resistencias de 4000 psi las muestras con 4% de adición ensayadas a 7 y 28 días presentaron una disminución considerable de resistencia a la compresión.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Grafica 13. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 4000 psi con 28 días de edad y adición de microsilice. Fuente: Autores

Gráficamente podemos observar las diferencias entre la muestra patrón y las muestras con adiciones, el aumento se da con las muestras con 1% y 2% y luego disminuye paulatinamente hasta obtener la menor resistencia con el 4% de adición.

El aumento de resistencia obtenido con las muestras de 4000 psi es similar al obtenido con las muestras de 3000 psi, ambas muestras presentaron aumento significativo con porcentajes de adición de 1% y 2%, para las muestras de 4000 psi una adición mayor al 3% no presenta un aumento de resistencia, sino, por el contrario perjudica la resistencia final de diseño, esto es debido a que al ser las muestras de concreto de 4000 psi más compactas y menos permeables el microsilice ocupa los pocos poros disponibles y satura la mezcla disminuyendo su trabajabilidad y por ende aumentando aún más su compactidad, generando una mezcla más compacta de lo necesario y disminuyendo su ductilidad ante la acción de cargas concentradas axialmente.



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



5.2.8. Muestras de 4000 psi a 28 días con adición de polipropileno

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	54718.3	4	13679.6	184.45	0.0000
Intra grupos	370.818	5	74.1636		
Total (Corr.)	55089.1	9			

Tabla 41. Análisis de varianza para muestras de 28 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)

Para las muestras de 4000 con adición de polipropileno y 28 días de edad podemos afirmar nuevamente con un nivel de confianza del 95% que existe una diferencia significativa entre las medias de las resistencias obtenidas con los diferentes porcentajes de adición, debemos determinar entonces cuál de los porcentajes de adición generan los mejores resultados de aumento de resistencia. Siendo consecuentes con las muestras de adición de polipropileno evaluadas antes los porcentajes que mejor comportamiento de aumento de resistencia tienen son el 3% y 4% de adición.

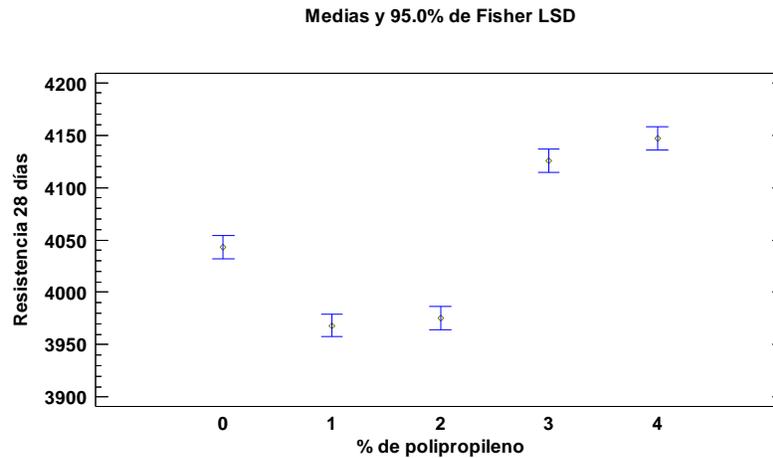
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	2	3968.45	X
2	2	3975.33	X
0	2	4042.85	X
3	2	4125.28	X
4	2	4147.11	X

Tabla 42. Prueba de rangos múltiples para muestras de 28 días de edad y adición de polipropileno con resistencia de 4000 psi. Fuente (Autores)

La prueba LSD de Fisher nos muestra al igual que los experimentos con adición de polipropileno anteriores que existen porcentajes que generan resistencias mayores y menores, nuevamente, encontramos que las porcentajes que mejor se comportan en lo que a aumento de resistencia respecta son el 3% y 4% y que la disminución de resistencia se presenta con las adiciones del 1% y 2%.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Grafica 14. Diagrama de medias de Fisher para muestras de 4000 psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores

Al observar la gráfica de medias nos damos cuenta visualmente el comportamiento del aumento de resistencia que se presenta por la adición de polipropileno, nuevamente el aumento se presenta con el 3% y 4% respectivamente y se observa una disminución considerable de resistencia con el 1% y 2% de adición

5.2.9. Interacción de las mezclas de concreto con las adiciones separadas

Las muestras de 3000 psi evaluadas con microsilice al igual que las de 4000 psi presentaron un aumento significativo en la resistencia final a la compresión observándose un aumento mayor en las muestras de 3000 psi, esta diferencia en el aumento era esperada ya que al ser las mezclas de concreto de 3000 psi menos compacta posee muchos más espacios vacíos de poros para ser ocupados por el polipropileno, caso contrario para las muestras de 4000 psi al poseer una mezcla más compacta y con menos poros vacíos el aumento de resistencia es un poco menor, también, debido a la misma estructura física de la mezcla el exceso de fibras de microsilice disminuyen la trabajabilidad de la mezcla y reducen su relación agua cemento generando a medida que se aumenta la adición más allá del 2% una disminución en la resistencia mecánica final al compresión.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



De igual forma el análisis para mezclas adicionadas con polipropileno nos muestra resultados alentadores ya que con adiciones a partir al 2% se presentan aumentos significativos en la resistencia del concreto, este aumento es causado por las propiedades físicas de la fibra que al poseer una mayor capacidad para resistir choques que compresiones causa que sea necesario un mayor porcentaje de adición. Este comportamiento es inherente a la resistencia del concreto ya que para ambas (3000 psi y 4000 psi) los resultados presentaron aumentos de resistencia en estos porcentajes de adición.

5.2.10. Muestras combinadas con los porcentajes de adición óptimos

Luego de realizados todos los ensayos con las muestras de 3000 y 4000 psi de resistencia a la compresión encontramos que para las adiciones con microsíllice los porcentajes óptimos de adición estaban entre el 1% y 2%; y para las muestras con adición de polipropileno los porcentajes ideales se encontraban en el orden del 3% y 4%.

A simple vista lo más fácil para determinar los porcentajes de las muestras combinadas sería tomar las muestras que presentar mayor resistencia, pero al realizar un análisis detallado encontramos que tanto para los porcentajes de microsíllice y polipropileno no existían diferencias significativas entre los porcentajes que presentan aumento de resistencia por lo cual se hace necesario el verificar el comportamiento combinado de todos. Para esto entonces se plantea un experimento multifactorial con una sola variable de respuesta como sigue:

Experimento combinado		Polipropileno	
		3%	4%
Microsilice	1%	R1-3 (a)	R1-4 (a)
		R1-3 (b)	R1-4 (b)
	2%	R2-3 (a)	R2-4 (a)
		R2-3 (b)	R2-4 (b)

Tabla 43. Experimento con adiciones combinadas. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Donde se realizarán dos corridas en las cuales se evaluarán ambos porcentajes de microsilice con cada uno de los porcentajes de polipropileno y en base a esto se determinará si existe una influencia determinante en cada porcentaje por separado y combinados respectivamente. Este experimento solo se evaluó a los 28 días de edad con el fin de determinar solo la resistencia final de las muestras.

A continuación se muestran los resultados obtenidos con las muestras evaluadas a 28 días de edad y con combinación de adiciones

Muestra de 3000 psi			
Experimento combinado		Polipropileno	
		3%	4%
Microsilice	1%	3025.3	3075.9
		3015.4	3055.6
	2%	3085.3	3101.5
		3090.7	3100.8

Muestras de 4000 psi			
Experimento combinado		Polipropileno	
		3%	4%
Microsilice	1%	4010.2	4035.6
		4008.1	4022.5
	2%	4027.3	4040.1
		4025.7	4042.8

Tabla 44. Experimento con adiciones combinadas con resistencias de 3000 y 4000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores

Los resultados se muestran a continuación, los valores anteriormente expuestos se comparan con los valores patrón de 1% y 2% de microsilice a los 28 días para ambas resistencias.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



5.2.10.1. Muestras combinadas con resistencia de 3000 PSI

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>
EFFECTOS PRINCIPALES				
A:PORCENTAJE DE MICROSILICE	24516.5	1	24516.5	545.06
B:PORCENTAJE DE POLIPROPILENO	7446.0	2	3723.0	82.77
INTERACCIONES				
AB	9587.63	2	4793.81	106.58
RESIDUOS	269.875	6	44.9792	
TOTAL (CORREGIDO)	41820.0	11		

<i>Fuente</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES	
A:PORCENTAJE DE MICROSILICE	0.0000
B:PORCENTAJE DE POLIPROPILENO	0.0000
INTERACCIONES	
AB	0.0000
RESIDUOS	
TOTAL (CORREGIDO)	

Tabla 45. Análisis de varianza para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 3000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores

Observamos que luego de modelar los datos del experimento en el software Statgraphics, el cual evalúa cada adición por separado y luego la combinación de estas nos muestra que existe una diferencia estadística entre las medias de resistencia, no podemos afirmar aun si esta diferencia es positiva o negativa respecto a las muestras patrón, pero podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que se está presentado una diferencia en las medias de resistencia.

<i>PORCENTAJE DE MICROSILICE</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	6	3039.07	2.73798	X
2	6	3129.47	2.73798	X

Tabla 46. Prueba de rangos múltiples para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 3000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI

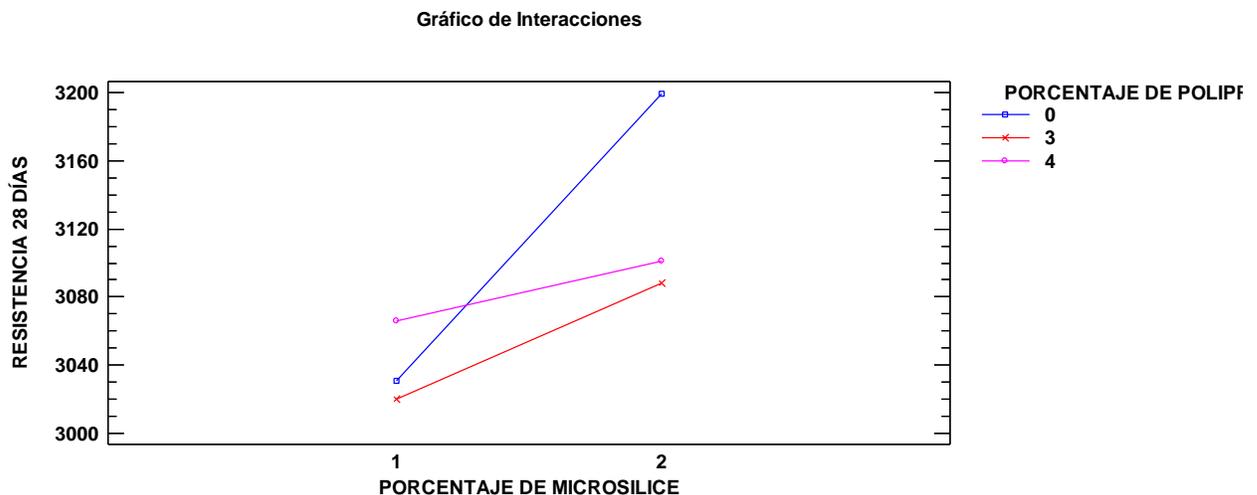


Observamos que con los diferentes porcentajes de adición de polipropileno (incluyendo la muestra patrón con 0% de polipropileno) se presenta una diferencia significativa entre cada una, se debe determinar entonces que porcentaje de adición de polipropileno nos genera el mejor resultado de aumento de resistencia.

PORCENTAJE DE POLIPROPILENO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	4	3054.18	3.35333	X
4	4	3083.45	3.35333	X
0	4	3115.18	3.35333	X

Tabla 47. Prueba de rangos múltiples para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 3000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores

La prueba de rangos múltiples para las adiciones de polipropileno nos muestra que existe una diferencia significativa evidente entre la muestra patrón (0%) y las muestras con adición de 3% y 4%, curiosamente observamos que la mayor resistencia se obtiene con las muestras sin adición de polipropileno, lo que nos inicialmente nos indica que la combinación de estas adiciones aunque presenta un aumento de resistencia final no es comparable con la resistencia que se obtiene con la muestra individual de microsilice.



Grafica 15. Gráfico de interacciones para las muestras con adición combinada psi con 28 días de edad y adición de polipropileno. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Gráficamente observamos que nuevamente todas las muestras están por encima de la resistencia de diseño pero podemos dar una respuesta más acertada acerca del comportamiento de la resistencia con las diferentes adiciones.

Con el 1% de microsilice se obtiene mayor resistencia con una adición de 4% de polipropileno, superando las resistencias obtenidas sin adición de polipropileno, caso contrario sucede al revisar la adición de 2% de microsilice, la cual dispara la resistencia final de la muestra, dejando atrás las adiciones combinadas.

Este pico de resistencia nos indica que aunque con el 1% de adición de microsilice no se supera la acción combinada con la adición de 4% polipropileno, las resistencias obtenidas son muy similares y que aunque con el 2% se aventaja sustancialmente las muestras combinadas con una adición menor se pueden obtener resultados significativos sin necesidad de combinar las adiciones antes mencionadas, esto es válido afirmarlo para resistencias de 3000 psi y un nivel de confianza del 95%.

5.2.10.2. Muestras combinadas con resistencia de 4000 psi

Se realizó el mismo procedimiento para las muestras de 4000 psi y se obtuvieron los siguientes resultados.

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:% MICROSILICE	690.083	1	690.083	6.06	0.0490
B:% POLIPROPILENO	36699.0	2	18349.5	161.22	0.0000
INTERACCIONES					
AB	818.782	2	409.391	3.60	0.0940
RESIDUOS	682.88	6	113.813		
TOTAL (CORREGIDO)	38890.8	11			

Tabla 48. Análisis de varianza para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 4000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Observamos nuevamente que el P-value del factor de adición de microsilice así como el de polipropileno están generando que se dé una diferencia significativa en las medias de resistencia a los 28 días de edad, curiosamente observamos nuevamente que la interacción conjunta de estos factores no influye estadísticamente en una diferencia significativa de resistencia final.

% MICROSILICE	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	6	4057.73	4.35533	X
1	6	4072.9	4.35533	X

Tabla 49. Prueba de rangos múltiples para el factor de microsilice para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 4000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores

Al realizar un análisis de la prueba de rangos múltiples para la adición de microsilice observamos que este factor está generando que se den diferencias significativas en las medias de resistencia, lo que nos lleva a determinar cuál de los porcentajes de polipropileno es el causante que se presenten las diferencias de medias.

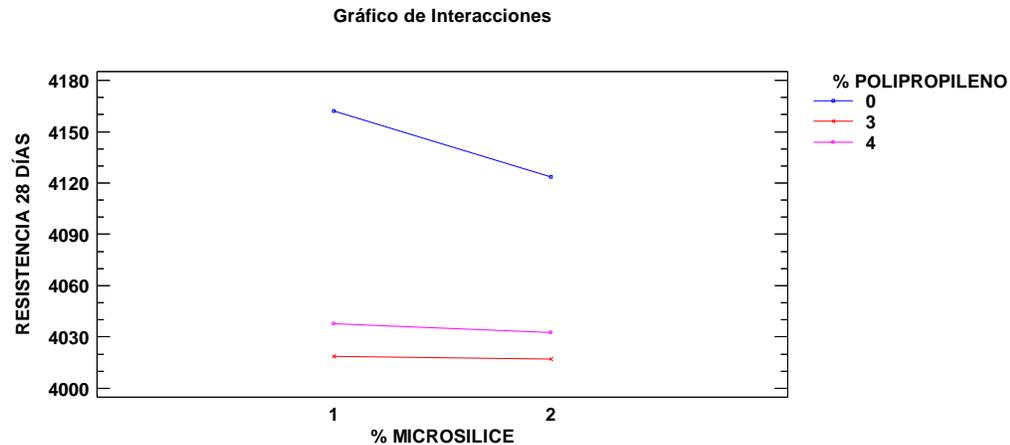
% POLIPROPILENO	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	4	4017.82	5.33417	X
4	4	4035.25	5.33417	X
0	4	4142.88	5.33417	X

Tabla 50. Prueba de rangos múltiples para el factor de polipropileno para el experimento de adiciones combinadas para resistencia de 4000 psi a 28 días de edad. Fuente: Autores

Al verificar los resultados de la prueba de rangos múltiples para la adición de polipropileno nos damos cuenta que al igual que con las muestras de 3000 psi el mejor comportamiento se obtiene sin adicionar polipropileno, es decir, las resistencias con adiciones combinadas nuevamente si bien son mayores a las de diseño están estadísticamente por debajo de las obtenidas con la adición de microsilice solamente.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Grafica 16. Gráfico de interacciones para las muestras con adición combinada psi con 28 días de edad y adición de polipropileno resistencia de 4000 psi. Fuente: Autores

Gráficamente observamos nuevamente que si bien existe un aumento de resistencia final con la combinación de las adiciones este no es comparable con el aumento que se obtiene al adicionar solo microsilice. Esto quizás es debido a la diferencia de propiedades tanto físicas como químicas que poseen las adiciones, hecho que causa que su combinación no sea tan compatible y no presente resultados prometedores como los obtenidos con las adiciones individuales.

5.3. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA POR MEDIO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAMETRAL

Para este ensayo se prepararon muestras de 3000 y 4000 psi sin adición las cuales nuevamente serían el patrón de comparación de resistencia y se prepararon muestras con adición del 1% al 4% en peso de cemento, esto con el fin de mantener concordancia con los ensayos realizados para medir la resistencia a la compresión.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



De acuerdo a los resultados revisados en investigación anteriores el aumento de plasticidad proporcionado por las fibras de polipropileno permite tener un aumento significativo de resistencia a la tracción (Barrios & Sanes, 2013). Basados en esta premisa se realizó la comparación de los datos y el análisis de los mismos mediante herramientas estadísticas.

A continuación se presentan los resultados obtenidos mediante el método de compresión diametral.

3000 PSI 28 DIAS										
RESISTENCIA	MICROSILICE					POLIPROPILENO				
	0%	1%	2%	3%	4%	0%	1%	2%	3%	4%
	240.9	181.1	237.9	260.5	243.1	240.9	275.3	270.4	281.1	278.7
242.7	231.4	254.6	257.3	256.1	242.7	279.9	276.3	281.5	276.7	
4000 PSI 28 DIAS										
RESISTENCIA	MICROSILICE					POLIPROPILENO				
	0%	1%	2%	3%	4%	0%	1%	2%	3%	4%
	356.3	349.2	359.1	348.2	351.5	356.3	388.8	377.3	386.8	377.1
354.5	350.0	356.5	353.5	350.6	354.5	377.5	379.7	393.7	373.9	

Tabla 51. Resumen de resistencia a tracción indirecta para muestras de 3000 y 4000 psi.

Fuente: Autores

TRACCION INDIRECTA MICROSILICE		
MUESTRA	EDAD (DIAS)	%
	28	
M1 - 3000P	241.8	
M1 - 3000(1)	206.2	85%
M1 - 3000(2)	246.3	102%
M1 - 3000(3)	258.9	107%
M1 - 3000(4)	249.6	103%

Tabla 52. Resistencia promedio y comparación de resistencia esperada para muestras de 3000 psi con adición de microsíllice. Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



TRACCION INDIRECTA MICROSILICE		
MUESTRA	EDAD (DIAS)	%
	28	
M1 - 4000P	355.4	
M1 - 4000(1)	353.3	99%
M1 - 4000(2)	357.8	101%
M1 - 4000(3)	350.8	99%
M1 - 4000(4)	351.1	99%

Tabla 53. Resistencia promedio y comparación de resistencia esperada para muestras de 4000 psi con adición de microsíllice. Fuente: Autores

TRACCION INDIRECTA POLIPROPILENO		
MUESTRA	EDAD (DIAS)	%
	28	
M2 - 3000P	241.8	
M2 - 3000(1)	275.2	114%
M2 - 3000(2)	278.7	115%
M2 - 3000(3)	281.3	116%
M2 - 3000(4)	277.7	115%

Tabla 54. Resistencia promedio y comparación de resistencia esperada para muestras de 3000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Autores

TRACCION INDIRECTA POLIPROPILENO		
MUESTRA	EDAD (DIAS)	%
	28	
M2 - 4P	355.4	
M2 - 4000(1)	383.2	108%
M2 - 4000(2)	378.5	107%
M2 - 4000(3)	390.3	110%
M2 - 4000(4)	375.5	106%

Tabla 55. Resistencia promedio y comparación de resistencia esperada para muestras de 4000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Autores

Inmediatamente nos damos cuenta que las muestras con adición de microsíllice inicialmente no alcanzan la resistencia de la muestra patrón presentando en muestras de 4000 psi un máximo de 1% de aumento de resistencia y en las muestras de 3000 psi un máximo de 3%. Caso contrario con las muestras con adición de polipropileno tenemos en todos los casos para resistencias de 3000 y



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



4000 aumentos de resistencia que van desde el 8 al 15% en comparación con la muestra patrón.

Si bien a simple vista estos resultados son apreciables se hace necesario realizar un análisis estadístico profundo para determinar si los aumentos y disminución de resistencia que se muestran con las adiciones de microsilice y polipropileno son significativos o no.

5.3.1. Análisis de muestras de 3000 psi con adición de microsilice

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3258.33	4	814.584	2.72	0.1507
Intra grupos	1495.73	5	299.146		
Total (Corr.)	4754.06	9			

Tabla 56. Análisis de varianza para muestras de 3000 psi con adición de microsilice.

Fuente: Autores

Observamos en el análisis de varianza que aunque existan muestras con adición de polipropileno que no alcancen la resistencia promedió y existan algunas que la superen esta diferencia no es significativa, esto es bastante curioso ya que para resistencias de 3000 psi independientemente del porcentaje de adición los resultados indican que estadísticamente con un nivel de confianza del 95% las muestras alcanzan la resistencia patrón ya sea por encima o por debajo de esta.

5.3.2. Análisis de muestras de 3000 psi con adición de polipropileno

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2092.62	4	523.156	89.87	0.0001
Intra grupos	29.105	5	5.821		
Total (Corr.)	2121.73	9			

Tabla 57. Análisis de varianza para muestras de 4000 psi con adición de microsilice.

Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI

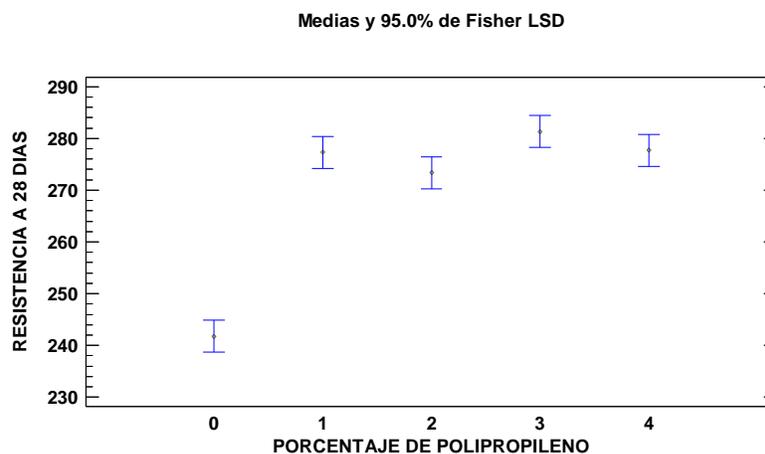


En el análisis de varianza para muestras de 3000 psi con polipropileno nos damos cuenta que para este caso si existe una diferencia significativa entre las resistencias obtenidas en el ensayo de tracción indirecta, se hace necesario entonces determinar cuál de los resultados analizados es el que genera dicha diferencia.

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
0	2	241.8	X
2	2	273.35	X
1	2	277.3	X
4	2	277.7	X X
3	2	281.3	X

Tabla 58. Prueba de rangos múltiples para muestras de 4000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores

En la prueba de rangos múltiples de Fisher nos damos cuenta que con un nivel de confianza de 95% todas las muestras con adición tienen diferencia significativa con la muestra patrón y que las muestras con 1%,4% y 3% se encuentran en el mismo grupo homogéneo de medias, lo cual nos indica que los resultados obtenidos con estas adiciones no difieren estadísticamente el uno del otro.



Grafica 17. Gráfico de medias para muestras de 3000 psi y adición de polipropileno Fuente: Autores



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



En la gráfica de medias observamos el aumento de la resistencia a la tracción proporcionado por las adiciones de polipropileno, todas las adiciones generan un aumento significativo de resistencia a la tracción, siendo la adición de 3% la que genera el mayor aumento de la misma.

5.3.3. Análisis de muestras de 4000 psi con adición de microsilice

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	97.534	4	24.3835	6.17	0.0359
Intra grupos	19.77	5	3.954		
Total (Corr.)	117.304	9			

Tabla 59. Análisis de Varianza para muestras de 4000 psi con adición de microsilice.
Fuente: Autores

Con las muestras de 4000 psi adicionadas con microsilice observamos que con un nivel de confianza de 95% existe una diferencia significativa por lo menos en un par de las medias comparadas, debemos entonces determinar si esta diferencia es por encima o por debajo de la muestra patrón, para esto realizamos la prueba de rangos múltiples y así determinaremos que grupos de medias generan las diferencias significativas.

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	2	349.6	X
3	2	350.85	X X
4	2	351.05	X X
0	2	355.4	XX
2	2	357.8	X

Tabla 60. Prueba de rangos múltiples para muestras de 4000 psi con adición de microsilice. Fuente: Autores

La prueba de rangos múltiples nos permite apreciar que la mayoría de medias de resistencia con adición de microsilice están por debajo de la muestra patrón y que solamente la adición de 2% de microsilice genera un aumento de resistencia el cual



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



no es significativo en comparación con la resistencia patrón ya que ambos están en el mismo grupo homogéneo de medias.

5.3.4. Análisis de muestras de 4000 psi con adición de polipropileno

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1366.95	4	341.738	17.57	0.0038
Intra grupos	97.27	5	19.454		
Total (Corr.)	1464.22	9			

Tabla 61. Análisis de varianza para muestras de 4000 psi con adición de polipropileno.

Fuente: Autores

En análisis de varianza para muestras de 4000 psi y adición de polipropileno nos muestra nuevamente que para un nivel de confianza del 95% existen diferencias significativas en las medias de resistencia a la tracción.

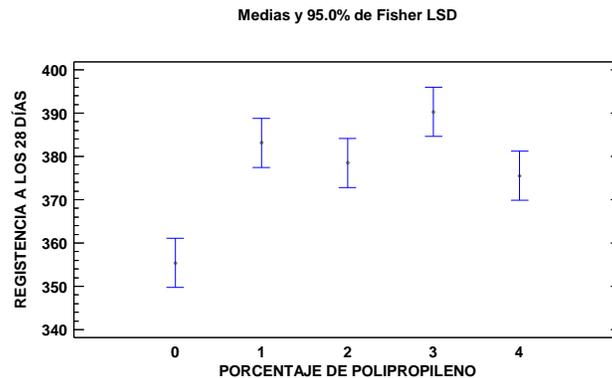
<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
0	2	355.4	X
4	2	375.5	X
2	2	378.5	X
1	2	383.15	XX
3	2	390.25	X

Tabla 62. Prueba de rangos múltiples para muestras de 4000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Autores

En la prueba de rangos múltiples observamos nuevamente que todas las adiciones generan aun aumento significativo de resistencia a la tracción indirecta. Nuevamente obteniendo la mayor resistencia con el 3%.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Grafica 18. Gráfico de medias para muestras de 4000 psi y adición de polipropileno
Fuente: Autores

En el gráfico de medias observamos un comportamiento similar al obtenido con las muestras de 3000 psi, donde, la mayor resistencia se obtiene al tener muestras con adición de 3% de polipropileno.

Luego de realizados los ensayos y análisis de las muestras a tracción indirecta para 3000 y 4000 psi observamos que los resultados no son muy prometedores para la adición de humo de sílice si bien estadísticamente no existe diferencia significativa para las muestras de 3000 psi el que no se alcance la resistencia de diseño hace que estos resultados sean inaceptables, para las muestras de 4000 psi con esta misma adición los resultados no son alentadores tampoco ya que las muestras no alcanzan la resistencia de diseño y para este caso si se presentaron diferencias significativas con respecto a la muestra patrón. Esto nos indica nuevamente que al ser la mezcla de 4000 psi más compacta deja menos poros varios para ser ocupados por el humo de sílice lo cual genera una saturación en la mezcla y disminuye su plasticidad, por consiguiente disminuyendo su resistencia final.

Las muestras con adición de polipropileno psi presentan resultados más alentadores ya que se obtuvieron aumentos hasta del 15% de resistencia a la tracción para las muestras de 3000 psi y del 10% para muestras de 4000 psi, pero siempre mostrando mayor resistencia las muestras de 3% de adición, se comprueba



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



nuevamente que las muestras de polipropileno ayudan a mejorar la plasticidad de las mezclas mejorando así su resistencia a la tracción indirecta.

5.4. ESTUDIO DE COSTOS DE LAS MEZCLAS CON Y SIN ADICIÓN

Uno de los objetivos de este trabajo de grado es determinar si es viable o no económicamente fabricar mezclas con adiciones, para esto era necesario determinar primero los porcentajes óptimos de adición para así determinar el costo de producción de un metro cubico de mezcla de concreto de acuerdo al diseño de mezclas presentado en capítulos anteriores.

Inicialmente se presenta el costo de producción de un metro cubico de concreto de 3000 y 4000 psi sin adición el cual servirá como precio base de comparación de costos con los concretos adicionados.

COSTO DE MATERIALES PARA 1 M3 DE CONCRETO DE 3000 PSI				
Descripción	Unidad	Vi. Unitario	Cantidad	Vi. Total
Cemento Portland tipo I	kg	\$ 510.40	350.00	\$ 178,640.00
Arena lavada de rio	M3	\$ 61,712.00	0.67	\$ 41,347.04
Canto rodado	M3	\$ 55,680.00	0.67	\$ 37,305.60
Agua	Lt	\$ 150.00	160.00	\$ 24,000.00
TOTAL				\$ 281,292.64

Tabla 63. Costo de materiales para un metro cúbico de 3000 psi. Fuente: Construdata 2016

COSTO DE MATERIALES PARA 1 M3 DE CONCRETO DE 4000 PSI				
Descripción	Unidad	Vi. Unitario	Cantidad	Vi. Total
Cemento Portland tipo I	kg	\$ 510.40	450.00	\$ 229,680.00
Arena lavada de rio	M3	\$ 61,712.00	0.60	\$ 37,027.20
Canto rodado	M3	\$ 55,680.00	0.60	\$ 33,408.00
Agua	Lt	\$ 150.00	180.00	\$ 27,000.00
TOTAL				\$ 327,115.20

Tabla 64. Costo de materiales para un metro cúbico de 4000 psi. Fuente: Construdata 2016



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



COSTO DE MATERIALES PARA 1 M3 DE CONCRETO DE 3000 PSI CON HUMO DE SILICE				
Descripción	Unidad	Vi. Unitario	Cantidad	Vi. Total
Cemento Portland tipo I	kg	\$ 510.40	350.00	\$ 178,640.00
Arena lavada de rio	M3	\$ 61,712.00	0.67	\$ 41,347.04
Canto rodado	M3	\$ 55,680.00	0.67	\$ 37,305.60
Agua	Lt	\$ 150.00	160.00	\$ 24,000.00
SIKAFUME	KG	\$ 3,969.52	7.00	\$ 27,786.64
TOTAL				\$ 309,079.28

Tabla 65. Costo de materiales para un metro cúbico de 3000 psi con adición de microsilice.

Fuente: Construdata 2016

COSTO DE MATERIALES PARA 1 M3 DE CONCRETO DE 4000 PSI CON HUMO DE SILICE				
Descripción	Unidad	Vi. Unitario	Cantidad	Vi. Total
Cemento Portland tipo I	kg	\$ 510.40	450.00	\$ 229,680.00
Arena lavada de rio	M3	\$ 61,712.00	0.60	\$ 37,027.20
Canto rodado	M3	\$ 55,680.00	0.60	\$ 33,408.00
Agua	Lt	\$ 150.00	180.00	\$ 27,000.00
SIKAFUME	KG	\$ 3,969.52	9.00	\$ 35,725.68
TOTAL				\$ 362,840.88

Tabla 66. Costo de materiales para un metro cúbico de 4000 psi con adición de microsilice.

Fuente: Construdata 2016

COSTO DE MATERIALES PARA 1 M3 DE CONCRETO DE 3000 PSI CON POLIPROPILENO				
Descripción	Unidad	Vi. Unitario	Cantidad	Vi. Total
Cemento Portland tipo I	kg	\$ 510.40	350.00	\$ 178,640.00
Arena lavada de rio	M3	\$ 61,712.00	0.67	\$ 41,347.04
Canto rodado	M3	\$ 55,680.00	0.67	\$ 37,305.60
Agua	Lt	\$ 150.00	160.00	\$ 24,000.00
SIKAFIBER AD	KG	\$ 19,372.00	10.50	\$ 203,406.00
TOTAL				\$ 484,698.64

Tabla 67. Costo de materiales para un metro cúbico de 3000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Construdata 2016



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



COSTO DE MATERIALES PARA 1 M3 DE CONCRETO DE 4000 PSI CON POLIPROPILENO				
Descripción	Unidad	VI. Unitario	Cantidad	VI. Total
Cemento Portland tipo I	kg	\$ 510.40	450.00	\$ 229,680.00
Arena lavada de rio	M3	\$ 61,712.00	0.60	\$ 37,027.20
Canto rodado	M3	\$ 55,680.00	0.60	\$ 33,408.00
Agua	Lt	\$ 150.00	180.00	\$ 27,000.00
SIKAFIBER AD	KG	\$ 19,372.00	13.50	\$ 261,522.00
TOTAL				\$ 588,637.20

Tabla 68. Costo de materiales para un metro cúbico de 4000 psi con adición de polipropileno. Fuente: Construdata 2016

A simple vista nos damos que los costos de producción del concreto con adición es mucho mayor que el costo de producir mezclas sin adiciones, por lo cual es necesario comparar el porcentaje de aumento de resistencia con el porcentaje de aumento en costo de producción para así determinar si es viable o no el uso de estas adiciones en mezclas de concreto domésticas.

Adición de microsilice						
Muestra	Resistencia	Aumento	Muestra	Resistencia	Aumento	Aumento promedio
M1-3000P	3018	6.01%	M1-4000P	4043	2.00%	4%
M1-3000(2)	3199		M1-4000(2)	4124		
Adición de polipropileno						
Muestra	Resistencia	Aumento	Muestra	Resistencia	Aumento	Aumento promedio
M1-3000P	3018	3.00%	M1-3000P	4043	2.04%	3%
M2-3000(3)	3108		M2-4000(3)	4125		

Tabla 69. Análisis de aumento de resistencia para las mezclas adicionadas de 3000 y 4000 psi. Fuente: Autores

Observamos que las mezclas con adición de microsilice tienen un aumento de 6.01% y 2.00% para 3000 y 4000 psi respectivamente y aun amento en promedio del 4% aplicable a ambas resistencias.

Para las mezclas con adición de polipropileno observamos resultamos más uniformes es decir para mezclas de 3000 psi se obtienen aumentos de 3% y para mezclas de 4000 psi aumentos del 2%, con un aumento promedio de 3% para ambas mezclas.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Debemos entonces revisar el aumento en costo de producción de las mezclas para confirmar si es justificable la producción de mezclas de concreto con adiciones de acuerdo a los porcentajes de resistencia aumentados.

Mezcla	Resistencia	Costo	Porcentaje de aumento
Sin adición	3000	\$ 281,292.64	
	4000	\$ 327,115.20	
Microsilice	3000	\$ 309,079.28	10%
	4000	\$ 362,840.88	11%
Polipropileno	3000	\$ 484,698.64	72%
	4000	\$ 588,637.20	80%

Tabla 70. Análisis de costo para las mezclas adicionadas de 3000 y 4000 psi. Fuente: Autores

Nos damos cuenta que los costos de producción de mezclas adicionadas con 3000 y 4000 psi aumentan en promedio un 10% en comparación con las mezclas sin adición. Si comparamos este aumento con el aumento de resistencia observamos que dicho costo no justifican el aumento de resistencia que se obtiene ya que este es mucho menor que el costo de producción.

Similarmente para las mezclas con adición de polipropileno notamos un aumento de costo del 80% dicho costo está totalmente desproporcionado en comparación con el aumento de resistencia que se obtiene por lo cual también la relación costo-beneficio no es la mejor.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



6. CONCLUSIONES

Después de recogidos y analizados los datos arrojados por los ensayos de esta investigación se confirma que si existe una influencia positiva en el aumento de la resistencia tanto a tracción como a compresión por parte de las adiciones de microsilice y polipropileno, siendo estas últimas determinantes en el aumento de resistencia a la tracción del concreto. A continuación presentamos las conclusiones obtenidas en esta investigación

- Una selección adecuada de materiales y un correcto diseño de mezcla influyen de manera positiva en la obtención de la resistencia final del concreto, esto en conjunto con las precauciones y cuidados luego de fundidos los elementos complementan los requisitos necesarios para obtención de resistencia mecánica incluso por encima de las resistencias de diseño. En esta investigación se encontró que siguiendo la normatividad y pautas que esta designa las muestras patrón alcanzaron un porcentaje de resistencia mayor al esperado en el diseño de mezclas, demostrando finalmente que el concreto y su resistencia está ligada tanto a factores pre-fundida y post-fraguado.
- La adición de fibras de sílice presenta aumentos de resistencia mecánica tanto a los 7 y 28 días de edad a partir del 1% de adición en peso de cemento y este aumento es progresivo hasta adiciones menores al 3%, en este punto el aumento de resistencia disminuye pero de igual forma sigue siendo mayor a los resultados obtenidos con las muestras patrón. El análisis estadístico detallado nos indica que la adición óptima de adición de microsilice para obtener un aumento de resistencia considerable es del 2% ya que a mayor adición no se presentan diferencias significativas de resistencia.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



- El comportamiento de las fibras de polipropileno difiere un poco respecto a las microfibras de polipropileno ya que se requiere una cantidad mayor en peso de cemento para que se presenten aumentos estadísticamente significativos en la resistencia final, solo hasta el 3% de adición de adición de polipropileno se obtienen aumentos significativos de resistencia pero curiosamente a partir de ahí el aumento se estanca lo que nos lleva a concluir que el porcentaje óptimo para obtener aumento significativo es el 3% en peso de cemento.
- Al combinar los porcentajes óptimos de adición tanto para microsilice como polipropileno se observa un aumento de resistencia respecto a la resistencia de diseño, pero dicho aumento es inferior al obtenido con las dosificaciones separadas. Esto es debido a que ambas dosificaciones ocupan los poros vacíos de la mezcla y disminuyen la trabajabilidad del mismo lo que ocasiona que se presente una saturación en la mezcla afectando la resistencia final.
- De acuerdo al diseño de mezcla se proyectó un asentamiento de 100 mm (4") para muestras de 3000 psi y de 75mm (3") que es lo ideal para concretos de consistencia media, se encontró una disminución de la trabajabilidad al saturar la mezcla de concreto con porcentaje de humo de sílice mayor al 2%, esta disminución también se encontró, pero más evidente en las mezclas combinadas ya que se sobresaturó la muestra con las adiciones lo que ocasionó finalmente que no se alcanzaran resultados prometedores en los ensayos de compresión, una opción para prevenir esta pérdida de trabajabilidad sería tener en cuenta este efecto en el diseño de mezcla inicial.
- Los ensayos a tracción indirecta dieron como resultado que las muestras con adición de polipropileno tienen un comportamiento mucho mejor ya que mejoran la plasticidad de la mezcla haciéndola menos susceptible a los esfuerzos a tracción. Los resultados arrojaron que con adición de



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



polipropileno se obtienen aumentos hasta del 15% en resistencia a la tracción lo cual es bastante prometedor partiendo del hecho que el concreto posee una resistencia muy pobre ante este tipo de esfuerzos.

- Las fibras de microsilice dieron resultados que, aunque estadísticamente no difieran significativamente de la resistencia de diseño por norma no pueden ser aceptados, ya que no alcanzan la resistencia de diseño a los 28 días de fundidos, es viable afirmar que este comportamiento es debido a la saturación de la mezcla por parte del microsilice reduciendo su plasticidad y disminuyendo su capacidad de resistir esfuerzos a tracción.
- Al realizar el análisis de costo-beneficio de las diferentes mezclas se encontró que si bien se obtiene un aumento de resistencia tanto a la tracción como a la compresión los costos de uso de estas fibras son muy elevados tanto que alcanzan a ser 80% mayores, esto nos lleva a concluir que el uso a gran escala de estas adiciones está condicionado por el costo de las mismas y a la decisión personal de su uso.
- Finalmente, luego de revisados los resultados y el análisis estadístico del experimento podemos concluir que para concretos adicionados con el 2% en peso de cemento de microsilice se obtienen aumentos de resistencias a la compresión de 6% para muestras de 3000 psi y del 2% en mezclas de 4000 psi. Para las mezclas adicionadas con polipropileno se obtuvieron aumentos de resistencias del 3% y 2% para mezclas de 3000 y 4000 psi respectivamente.
- El aumento de resistencia a la tracción para concretos adicionados con microsilice no fue alentador y no se pudieron alcanzar diferencias significativas respecto a la muestra patrón. Caso contrario sucedió con la adición de polipropileno donde se obtuvieron aumentos en resistencia de



***INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI***



15% para mezclas de 3000 psi y del 10 % en mezclas de 4000 psi, estos resultados nos permiten asegurar que la adición de polipropileno en mezclas cuyo por su uso estarán expuestas a fuerzas de tracción como pisos o pavimentos puede ser una opción viable para el macrorefuerzo de estas.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



7. RECOMENDACIONES

A continuación se presentan un conjunto de recomendaciones que a juicio del investigador pueden servir de pautas para futuras investigaciones que se realicen sobre estudios de resistencia del concreto tanto a compresión como a tracción.

- Se encontró que las fibras de polipropileno mejoran la resistencia a la tracción del concreto, por lo cual se sugiere emprender investigaciones detalladas de esta adicción y encontrar un uso óptimo en concretos sometidos a esfuerzos a tracción, como por ejemplo en pavimentos rígidos y flexibles y el mejoramiento de la resistencia de los mismos.
- Esta investigación se realizó con materiales locales por lo cual su uso se limita al territorio de influencia de los mismos, sería ideal pensar a futuro en verificar los resultados obtenidos en esta con materiales de diferentes regiones con el fin de zonificar los resultados respecto al tipo de material y región de la cual proviene el mismo.
- Se ha demostrado que las fibras de microsilice presentan un aumento significativo de esfuerzos a compresión y las fibras de polipropileno a esfuerzos a tracción, sería ideal verificar el comportamiento de estas en elementos estructurales definidos, es decir, usar fibras de microsilice en columnas armadas y verificar su influencia en los esfuerzos a compresión a los cuales están sometidas estas, así como la respuesta estructural de concretos adicionados con polipropileno ante momentos flectores en vigas y muros.



INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI



Bibliografía

ASTM-C496. (2001). Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral. United States of America: American Section of the International Association for testing Materials. .

Barrios, M., & Sanes, D. (2013). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LAS MICROFIBRAS DE PROPILENO VS LAS MICROSILICES SOBRE LAS RESISTENCIAS DE MEZCLAS DE CONCRETO DE 3000 Y 4000 PSI*. Cartagena: Universidad de Cartagena.

C.S. Poon, Z. S. (2003). *Compressive behavior of fiber reinforced high-performance concrete*. Cement and Concrete Research, 1 - 8.

Del Castillo, A., & Pinedo, M. (2013). *ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LAS MICROFIBRAS DE PROPILENO VS LAS MICROSILICES SOBRE LAS RESISTENCIAS DE MEZCLAS DE CONCRETO DE 3000 Y 4000 PSI*. Cartagena: Universidad de Cartagena.

Gallovich Sarzalejo, A., Rossi, B., Perri, G., Winterberg, R., & Perri Arristigueita, R. E. (2010). *Fibras como elemento estructural para el refuerzo del Hormigon*. Jundai: *Publicación de Maccaferri do Brasil LTDA*.

Gnauck, F., & Bernhard, P. (1989). *El propileno, En iniciación química de plásticos*. Madrid: Hanser.

Gomezjurado, J. (1997). *Técno-logía y propiedades*. Bogotá: ASOCRETO.

Jianzhuang, X., & Falknerb, H. (2006). *On residual streight of high-performance concrete with and*. Fire safety journal 41, 1 - 7.

Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Analisis de experimentos*. Mexico: Limusa S.A. de C.V.

NTC-1377. (2010). *Ingeniería civil y arquitectura - Elboración y curado de especimenes de concreto para ensayos en el laboratorio*. Bogotá: ICONTEC.



**INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI**



- NTC-2275. (2006). Ingeniería civil y arquitectura - Procedimiento recomendado para la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia del concreto. Bogotá: ICONTEC.
- NTC-396. (1992). Ingeniería civil y arquitectura - Metodo de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Bogotá: ICONTEC.
- NTC-550. (2007). Concretos - Elaboración y curado de especimenes de concreto. . Bogotá: ICONTEC.
- NTC-673. (2010). Concretos - Ensayo de resistencia a la compresión de especimenes cilindricos de concreto. Bogotá: ICONTEC.
- NTC-77. (2007). Metodo de ensayo para el analisis por tamizado de los agregados finos y gruesos. Bogotá: ICONTEC.
- Orozco, C. (2012). *Implementación de microfibras de polipropileno en la producción de concreto*. Cartagena.
- Quiñones, & Causil. (2012). *Estudio comparativo de manejabilidad, durabilidad, resistencia y costos de mezclas de concreto in situ, adicionados con microsilice*. Cartagena de Indias: Universidad de Cartagena.
- Sanchez de Guzman, D. (2001). *Tecnología del concreto y mortero*. Bhandar editores.
- Segura Franco, J. (1998). *Estructuras de concreto*. Bogotá.
- Vidaud, I. (2012). *Construcción y tecnología de concreto*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2012, de <http://www.imcyc.com/revistacyt/sep11/artingenieria.html>



***INFLUENCIA DE MICROFIBRAS DE POLIPROPILENO Y MICROSILICE EN LA
RESISTENCIA DE CONCRETOS DE 4000 Y 3000 PSI***

