

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS

DÍAZ VILLARREAL EDISON JAVIER

edison.diaz@epn.edu.ec

TERÁN ESCOBAR ESTEBAN ALEXANDER

esteban.teran@epn.edu.ec

DIRECTORA: ING. MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO M.Sc.

maria.corream@epn.edu.ec

**CO-DIRECTOR: ING. EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACÍS TRONCOSO
Ph.D.(c)**

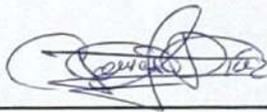
mercedes.villacis@epn.edu.ec

Quito, enero 2023

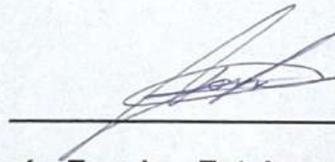
DECLARACIÓN

Nosotros, Díaz Villarreal Edison Javier y Terán Escobar Esteban Alexander, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



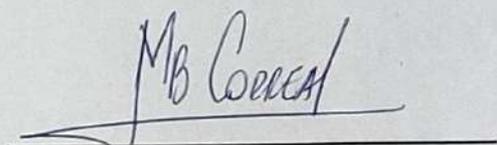
Díaz Villarreal Edison Javier



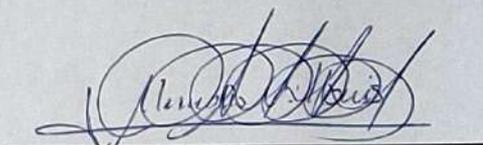
Terán Escobar Esteban Alexander

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edison Javier Díaz Villarreal y Esteban Alexander Terán Escobar, bajo mi supervisión.

Handwritten signature of María Belén Correa in blue ink, written over a horizontal line.

**ING. MARÍA BELÉN CORREA M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO**

Handwritten signature of Mercedes Villacís in blue ink, written over a horizontal line.

**ING. MERCEDES VILLACÍS Ph.D.(c)
CODIRECTOR DEL PROYECTO**

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi querido Dios y la Virgen del Quinche, que siempre me han guiado por el camino del bien, dándome vida y fuerzas para seguir adelante en mis estudios, para demostrar que si se puede y mantener mi fe en ellos.

A mis padres Jaime y Esperanza, siendo mis más grandes mentores, dándome su gran apoyo para no rendirme en este paso de mi vida, que con su amor, bondad y enseñanza poder lograr el sueño más anhelado de ellos.

A mis hermanos Byron y Robinson, que me apoyaron para no rendirme y estar ahí siempre en las buenas y en las malas.

A mi novia Britney, siendo mi compañera en todo momento, estando siempre ahí apoyándome con todo su amor, bondad, carisma y enseñanza.

A mi tío Germán, por sus enseñanzas y demostraciones en el trabajo, pude conocer el campo de la obra civil, y así poder ser un buen profesional, demostrando todo mi conocimiento en cada obra que se presente.

A mi compañero de tesis Esteban, por su apoyo, compañerismo y paciencia, se pudo lograr una etapa más de nuestra vida.

A nuestras directoras de tesis, Ing. María Belén Correa M.Sc. e Ing. Mercedes Villacís Ph.D.(c), por haber sido parte de nuestro proyecto de titulación, demostrando sus conocimientos y enseñanzas, siendo de gran ayuda para el desarrollo del presente trabajo.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Civil, por haber compartido todas sus conocimientos y enseñanzas, que fueron los pilares para formar parte de nuestra profesión y así poder seguir aplicando en nuestra vida cotidiana.

Edison Javier D.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por cada día de vida y por la de mis familiares.

También quiero expresar mis agradecimientos hacia mis padres Luis Terán y Salome Escobar, ya que ellos siempre me han brindado su apoyo incondicional y me han inculcado valores que han sido y serán muy importantes en mi vida.

De igual manera a mis hermanos, Sebastián, Karen, Cristina y María Emilia, sin ellos, ninguno de mis logros hubiera sido posible.

A mi hermanito Ringo por sus bigotes, cariño y fidelidad.

A mis tíos que han sido como guías y a mis amigos que han sido como hermanos.

Agradezco a mi compañero de tesis Edison, no solo por el trabajo que hemos elaborado, sino también por la amistad que hemos forjado a lo largo de nuestra carrera estudiantil.

A nuestras directoras de tesis María Belén Correa y Mercedes Villacís, por formar parte de nuestro proyecto de titulación y por la gran colaboración y enseñanzas que nos han brindado durante nuestro proceso de aprendizaje.

Esteban Alexander T.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a todas las personas que estuvieron apoyándome en cada momento de mi vida, principalmente mis padres que, con su esfuerzo, dedicación, valentía, enseñanza, bondad y cariño, pudieron formar un profesional sintiéndose orgullosos de sí mismos y estar disfrutando de los logros y metas propuestas en mi vida cotidiana.

Edison Javier D.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a mis padres, ya que ellos siempre me dieron todo, espero de esta manera empezar a devolverles lo mucho que me han brindado.

Esteban Alexander T.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	i
CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLA.....	xv
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
CAPÍTULO 1	1
1 GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 GENERAL.....	2
1.2.2 ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE	2
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	3
CAPÍTULO 2	4
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1 HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA	4
2.2 COMPONENTES DEL HORMIGÓN Y SUS CUALIDADES FÍSICO – MECÁNICAS.....	4
2.2.1 EL CEMENTO	4
2.2.2 LOS AGREGADOS	7
2.2.3 AGUA DE AMASADO.....	10

2.2.4	MICROSÍLICE Y PLASTIFICANTE.....	10
2.2.4.1	MICROSÍLICE	10
2.2.4.2	PLASTIFICANTE	16
2.3	PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO (FÍSICAS Y MECÁNICAS).....	17
2.3.1	CONSISTENCIA.....	18
2.3.2	TRABAJABILIDAD.....	19
2.3.3	COHESIÓN.....	19
2.3.4	MASA ESPECÍFICA	20
2.4	PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO (FÍSICAS Y MECÁNICAS).	20
2.4.1	RETRACCIÓN	20
2.4.2	DENSIDAD	21
2.4.3	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	22
2.4.3.1	FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN	23
2.4.4	PERMEABILIDAD.....	24
2.4.5	MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	25
2.4.6	VIDA ÚTIL.....	26
2.4.7	COMPORTAMIENTO ELÁSTICO E INELÁSTICO	26
2.4.8	DEFORMACIONES	27
	CAPÍTULO 3	29
3	METODOLOGÍA	29
3.1	PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES PÉTREOS PARA HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA.....	29
3.1.1	SELECCIÓN DE MATERIALES	29

3.1.1.1	CARACTERÍSTICAS DE LA CANTERA SELECCIONADA.....	29
3.1.2	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS	30
3.1.2.1	ENSAYOS DE ABRASIÓN	31
3.1.2.2	DENSIDAD REAL (PESO ESPECÍFICO).....	31
3.1.2.3	DENSIDAD APARENTE (SUELTA Y COMPACTA).....	32
3.1.2.4	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN	33
3.1.2.5	ENSAYO DE COLORIMETRÍA	34
3.1.2.6	CONTENIDO DE HUMEDAD	35
3.1.2.7	GRANULOMETRÍA	35
3.2	EL CEMENTO.....	38
3.2.1	PROPIEDADES DEL CEMENTO HOLCIM GU (FÍSICAS Y MECÁNICAS)	38
3.2.1.1	DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	38
3.2.1.2	DENSIDAD APARENTE (SUELTA Y COMPACTA) DEL CEMENTO	39
3.2.1.3	CONSISTENCIA NORMAL	39
3.2.1.4	TIEMPO DE FRAGUADO.....	40
3.3	PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR”	41
3.3.1.1	GRANULOMETRÍA LÁSER.....	41
3.3.1.2	FLUORESCENCIA RX	43
3.3.1.3	DIFRACCIÓN RX	44
3.3.1.4	BASICIDAD	45
3.3.1.5	DENSIDAD REAL.....	46
3.3.1.6	DENSIDAD SUELTA Y COMPACTA.....	46

3.4	PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL MICROSÍLICE “SF-100”	47
3.4.1.1	GRANULOMETRÍA LÁSER.....	47
3.4.1.2	FLUORESCENCIA RX	49
3.4.1.3	DIFRACCIÓN RX	49
3.4.1.4	BASICIDAD	49
3.4.1.5	DENSIDAD REAL.....	50
3.4.1.6	DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA.....	51
	CAPÍTULO 4	52
4	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	52
4.1	DISEÑO DE MEZCLAS	52
4.1.1	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA ESPECÍFICA DEL HORMIGÓN (F'C=55MPA)	52
4.1.2	ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EL ACI 318.19 ..	52
4.1.3	DISEÑO DE DOSIFICACIONES DE ACUERDO CON LA RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EL ACI 211.4R-08	53
4.1.4	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA REQUERIDA	54
4.2	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA DOSIFICACIONES DE MEZCLAS DE PRUEBA.....	55
4.3	MEZCLAS DE PRUEBA	61
4.3.1	PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR LA DOSIFICACIÓN MÁS EFICIENTE.....	62
4.3.2	MUESTRAS CILÍNDRICAS DE 10 X 20 CM	65
4.4	ELABORACIÓN DE 9 PROBETAS POR ALTERNATIVA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE MICROSÍLICE EN REEMPLAZO DEL CEMENTO AL 10%, 12.5% Y 15%	66
4.4.1	MEZCLA 1: PATRÓN	67

4.4.2 MEZCLA 2: PRIMERA ALTERNATIVA CON 10% DE MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR”	69
4.4.3 MEZCLA 3: SEGUNDA ALTERNATIVA CON 12,5% DE MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR”	71
4.4.4 MEZCLA 4: TERCERA ALTERNATIVA CON 15% DE MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR”	74
4.4.5 MEZCLA 5: CUARTA ALTERNATIVA CON 10% DE MICROSÍLICE “SF-100”	77
4.4.6 MEZCLA 6: QUINTA ALTERNATIVA CON 12,5% DE MICROSÍLICE “SF-100”	79
4.4.7 MEZCLA 7: SEXTA ALTERNATIVA CON 15% DE MICROSÍLICE “SF-100”	82
4.5 MÉTODO DE MEZCLADO, MOLDEADO, CURADO Y REFRENTADO	85
4.5.1 PROCEDIMIENTO DE MEZCLA	85
4.5.2 MOLDEO	86
4.5.3 CURADO	86
4.5.4 APLICACIÓN DE MÉTODO DE REFRENTADO NO ADHERIDO PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS	87
4.6 ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS A LA EDAD DE 7, 28 Y 90 DÍAS	88
4.7 RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS A LA EDAD DE 7, 28 Y 90 DÍAS	88
4.8 MÓDULO DE ELASTICIDAD	110
CAPÍTULO 5	116
5 RESULTADOS EXPERIMENTALES	116
5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	116
5.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL HORMIGÓN	116

5.1.1.1 TEMPERATURA.....	116
5.1.1.2 ASENTAMIENTO	117
5.1.1.3 TRABAJABILIDAD Y CONSISTENCIA	117
5.1.1.4 COHESIÓN	117
5.1.1.5 DENSIDAD	117
5.1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN.....	117
5.1.2.1 ANÁLISIS DE LA MEZCLA PATRÓN.....	118
5.1.2.2 COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS ENTRE LA MEZCLA PATRÓN Y LAS MEZCLAS CON MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR” Y “SF-100”	119
5.1.2.3 COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS ENTRE LA MEZCLA PATRÓN Y LAS MEZCLAS CON MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR” Y “SF-100”	122
5.1.2.4 COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 90 DÍAS ENTRE LA MEZCLA PATRÓN Y LAS MEZCLAS CON MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR” Y “SF-100”	124
5.1.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	128
5.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	129
5.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	130
CAPÍTULO 6	137
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
6.1 CONCLUSIONES	137
6.2 RECOMENDACIONES.....	142
BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXOS	150

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cemento Holcim tipo GU	5
Figura 2. Agregado fino	7
Figura 3. Agregado grueso	8
Figura 4. Agua de mezclado.....	10
Figura 5. Humo de sílice a través de un microscopio electrónico a 20000 aumentos.....	11
Figura 6. Escoria negra	14
Figura 7. Resistencia a la compresión típica.	16
Figura 8. SIKAMENT N-100	17
Figura 9. Cono de Abrams y su uso para medir el asentamiento	18
Figura 10. Esfuerzo del hormigón bajo temperaturas altas y bajas vs edades del hormigón.....	24
Figura 11. Curva esfuerzo - deformación del concreto sometidos a diferentes esfuerzos.....	26
Figura 12. Curva deformación vs tiempo del hormigón (En condiciones ambientales constantes).	27
Figura 13. Efecto de la resistencia	28
Figura 14. Ubicación de la cantera Pifo.....	30
Figura 15. Ensayo de contenido orgánico.	34
Figura 16. Curva granulométrica del agregado fino.....	36
Figura 17. Curva granulométrica del agregado grueso	37
Figura 18. Granulometría láser de microsílíce “FUNDIRECICLAR”.	41
Figura 19. Granulometría láser de microsílíce “SF-100”.....	47
Figura 20. Mesa de vibración	86
Figura 21. Cámara de curado.....	87
Figura 22. Almohadillas de neopreno con anillos de retención.....	87
Figura 23. Esfuerzo vs deformación unitaria mezcla Patrón a los 90 días.	110
Figura 24. Esfuerzo vs deformación unitaria mezcla microsílíce Fundireciclar a los 90 días.....	112

Figura 25. Esfuerzo vs deformación unitaria mezcla microsílíce SF-100 a los 90 días.	114
Figura 26. Resistencia a la compresión vs. edad de rotura de mezclas Patrón.....	119
Figura 27. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsílíce “FUNDIRECICLAR” (7 días).....	120
Figura 28. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsílíce “SF-100” (7 días).	121
Figura 29. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsílíce “FUNDIRECICLAR” (28 días).....	123
Figura 30. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsílíce “SF-100” (28 días).	124
Figura 31. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsílíce “FUNDIRECICLAR” (90 días).....	125
Figura 32. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsílíce “SF-100” (90 días).	126
Figura 33. Resistencia f'c media vs porcentajes de “FUNDIRECICLAR”.	127
Figura 34. Resistencia f'c media vs porcentajes de “SF-100”.....	128
Figura 35. Módulo de elasticidad de diferentes mezclas y % de desarrollo	129

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Compuestos y contenido porcentual del cemento.	4
Tabla 2.	Tipos de cementos en el Ecuador.	6
Tabla 3.	Requisitos para la gradación del agregado fino	7
Tabla 4.	Requisitos para la gradación del árido grueso	9
Tabla 5.	Densidad del humo de sílice en función del tipo de aleación	12
Tabla 6.	Rangos en porcentaje de las composiciones químicas.	12
Tabla 7.	Consistencia de los hormigones.....	18
Tabla 8.	Valores medios de gravedad específica según del tamaño máximo del árido.	20
Tabla 9.	Tipo de hormigón según su densidad.....	22
Tabla 10.	Tolerancia de tiempo de rotura de probetas cilíndricas para diferentes edades.....	22
Tabla 11.	Relación de resistencia de diseño del hormigón de acuerdo con sus días.	23
Tabla 12.	Ensayos de agregados con sus respectivas normas.....	30
Tabla 13.	Resultados de ensayo de abrasión.	31
Tabla 14.	Resultado de ensayo de densidad real (peso específico).	32
Tabla 15.	Resultados de la densidad aparente de agregados.	33
Tabla 16.	Resultado de la capacidad de absorción.....	33
Tabla 17.	Resultado del tipo de color del contenido orgánico.	34
Tabla 18.	Resultado de contenido de humedad de agregados.	35
Tabla 19.	Granulometría del agregado fino.....	36
Tabla 20.	Granulometría del agregado grueso.....	37
Tabla 21.	Característica de la muestra.....	38
Tabla 22.	Resultados de la densidad real del cemento.	39
Tabla 23.	Resultados de la densidad aparente del cemento.....	39
Tabla 24.	Condiciones del ensayo del cemento.	40
Tabla 25.	Resultados de consistencia normal del cemento.....	40
Tabla 26.	Resultados de tiempo de fraguado del cemento.	40

Tabla 27. Granulometría laser de humo de sílice.....	41
Tabla 28. Tabla de resultados de granulometría láser de microsílíce “FUNDIRECICLAR”.....	42
Tabla 29. Resultados de fluorescencia de rayos X.	43
Tabla 30. Resultado de calcinación.....	44
Tabla 31. Muestra de calcinación del humo de sílice.	44
Tabla 32. Resultados de difracción RX.	45
Tabla 33. Densidad real de microsílíce “FUNDIRECICLAR”.	46
Tabla 34. Resultado de densidad aparente de microsílíce.	47
Tabla 35. Granulometría láser del microsílíce “SF-100”.	47
Tabla 36. Tabla de resultados de granulometría láser del microsílíce “SF-100”	48
Tabla 37. Resultados de fluorescencia de rayos X del microsílíce “SF-100”.....	49
Tabla 38. Característica de la muestra microsílíce “SF-100”.....	50
Tabla 39. Densidad real del microsílíce “SF-100”.....	50
Tabla 40. Resultado de densidad aparente de microsílíce.	51
Tabla 41. Resistencia promedio requerida a la compresión cuando existen registros para obtener la desviación estándar.....	53
Tabla 42. Resistencia promedio requerida a la compresión cuando existe ausencia de datos para obtener la desviación estándar.	53
Tabla 43. Propiedades de los materiales.	55
Tabla 44. Asentamiento sugerido para hormigones elaborados con la incorporación y exclusión de aditivo HRWR.....	56
Tabla 45. Tamaño sugerido de árido grueso en función de f'_{cr}	56
Tabla 46. Volumen sugerido de árido grueso por volumen unitario de hormigón	57
Tabla 47. Primera estimación de demanda de agua de amasado y porcentaje de vacíos del concreto fresco en base al empleo de finos con 35% de vacíos....	58
Tabla 48. Relación agua/material cementicio máxima recomendada para hormigones hechos sin aditivo superplastificante.	59

Tabla 49. Relación agua/material cementicio máxima recomendada para hormigones hechos con aditivo superplastificante.	59
Tabla 50. Propiedades de los materiales.	62
Tabla 51. Dosificación para 1 m ³ de hormigón.	65
Tabla 52. Resistencia a la compresión de la dosificación más eficaz ensayado a los 7 días.	66
Tabla 53. Proporciones de cemento y microsílíce para las diferentes alternativas.	67
Tabla 54. Dosificación sin microsílíce para 9 probetas de hormigón.	69
Tabla 55. Resumen de pesos para la 1ra dosificación con 10% microsílíce Fundirecicar.	71
Tabla 56. Resumen de pesos para la 2da dosificación con 12,5% microsílíce Fundirecicar.	74
Tabla 57. Resumen de pesos para la 3ra dosificación con 15% microsílíce Fundirecicar.	76
Tabla 58. Resumen de pesos para la 4ta dosificación con 10% microsílíce SF-100.	79
Tabla 59. Resumen de pesos para la 5ta dosificación con 12,5% microsílíce SF-100.	81
Tabla 60. Resumen de pesos para la 6ta dosificación con 15% microsílíce SF-100.	84
Tabla 61. Resumen de proporciones de materiales de dosificaciones en kilogramos por metro cúbico.	84
Tabla 62. Resumen de cantidad de materiales para dosificaciones en kilogramos para 9 cilindros.	85
Tabla 63. Características de la probeta patrón a los 90 días.	110
Tabla 64. Resumen de resultados de la probeta patrón a los 90 días.	111
Tabla 65. Datos de la deformación de la mezcla patrón a los 90 días.	111
Tabla 66. Características de la probeta microsílíce Fundirecicar a los 90 días.	112

Tabla 67. Resumen de resultados de la probeta microsílíce Fundireciclar a los 90 días.	112
Tabla 68. Datos de la deformación de la mezcla microsílíce Fundireciclar a los 90 días.	113
Tabla 69. Características de la probeta microsílíce SF-100 a los 90 días.	114
Tabla 70. Resumen de resultados de la probeta microsílíce SF-100 a los 90 días.	114
Tabla 71. Datos de la deformación de la mezcla microsílíce SF-100 a los 90 días.	115
Tabla 72. Resultados de propiedades físicas.	116
Tabla 73. Resumen de valores medios de resistencia a la compresión.	118
Tabla 74. Resultados de ensayos de resistencia a la compresión de la mezcla patrón a diferentes edades.	118
Tabla 75. Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsílíce “FUNDIRECICLAR” a la edad de 7 días.	120
Tabla 76. Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsílíce “SF-100” a la edad de 7 días.	121
Tabla 77. Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsílíce “FUNDIRECICLAR” a la edad de 28 días.	122
Tabla 78. Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsílíce “SF-100” a la edad de 28 días.	123
Tabla 79. Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsílíce “FUNDIRECICLAR” a la edad de 90 días.	125

Tabla 80. Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsílíce “SF-100” a la edad de 90 días.....	126
Tabla 81. Módulo de elasticidad de mezcla patrón y mezclas con % de microsílíce.	128

RESUMEN

El presente trabajo técnico-experimental pretende aportar información sobre la influencia de aditivos químicos y minerales en la fabricación de mezclas de hormigón de alta resistencia, a través de la preparación de ensayos en estado tanto fresco como endurecido. Se emplearon agregados procedentes de los yacimientos de Pifo, localizados en Pichincha, cemento Holcim tipo GU, aditivos como el plastificante "Sikament N-100", microsílíce proveniente de la fundidora "FUNDIRECICLAR", y microsílíce "SF-100" de la compañía "BASF".

Una vez caracterizados los componentes del concreto, se realizaron ensayos de mixturas tomando en consideración las indicaciones del comité ACI 211.4R-08, donde se tuvo que aplicar una serie de reajustes en la dosificación, con el propósito de conseguir una mezcla de características deseadas, para posteriormente añadir los aditivos químicos y minerales en diferentes porcentajes y de esta manera observar si estos aditivos reaccionan de manera eficaz con el hormigón.

Mediante pruebas de resistencia a la compresión a diferentes edades, se pudo demostrar que el hormigón que contenía una adición del 15% de microsílíce "SF-100" y aditivo plastificante "Sikament N-100" en un 3,5% del contenido de material cementoso fue la mezcla más eficaz, superando sin dificultad la resistencia de diseño seleccionada para este trabajo ($f'c=55\text{MPa}$), incluso, logró sobrepasar la resistencia requerida a la compresión ($f'cr$) a la edad de 90 días con un valor de 79.8 MPa.

Palabras clave: concreto, hormigón de alta resistencia, mixtura, agregados, aditivo, plastificante, microsílíce, resistencia a la compresión, resistencia de diseño, resistencia requerida a la compresión.

ABSTRACT

This technical-experimental work aims to provide information on the influence of chemical and mineral additives in the manufacture of high-strength concrete mixes, through the preparation of tests in both fresh and hardened states. Aggregates from the Pifo deposits, located in Pichincha, Holcim cement type GU, additives such as the plasticizer "Sikament N-100", microsilica from the foundry "FUNDIRECICLAR", and microsilica "SF-100" from the company "BASF" were used.

Once the concrete components were characterized, mix tests were carried out taking into consideration the indications of the ACI 211.4R-08 committee, where a series of readjustments in the dosage had to be applied, with the purpose of obtaining a mixture with the desired characteristics, to later add the chemical and mineral additives in different percentages and in this way observe if these additives react effectively with the concrete.

By means of compressive strength tests at different ages, it was possible to demonstrate that the concrete containing an addition of 15% microsilica "SF-100" and plasticizing additive "Sikament N-100" at 3,5% of the cementitious material content was the most effective mix, exceeding without difficulty the design strength selected for this work ($f'_c=55\text{MPa}$), and even surpassing the required compressive strength (f'_{cr}) at the age of 90 days with a value of 79.8 MPa.

Keywords: concrete, high strength concrete, mixture, aggregates, additive, plasticizer, microsilica, compressive strength, design strength, required compressive strength.

CAPÍTULO 1

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En Ecuador, donde se utiliza concreto tradicional, el desarrollo y la producción de concreto de alta resistencia es un campo muy poco explorado en el sector de la construcción, por lo que se tiene la necesidad de desarrollar un concreto que pueda ofrecer mejores resultados a los proyectistas y constructores (Chiluisa, 2014).

En muchos casos, la resistencia del hormigón normal es insuficiente para soportar las cargas experimentadas por las estructuras, incluso por su propio peso, para el concreto de alta resistencia este problema se omitirá cuando este adquiera una resistencia superior de 50 MPa en 28 días (Cachiguano, 2014).

Estos hormigones se fabrican con los mismos materiales que el hormigón común, pero con la singularidad de que estos utilizan adiciones químicas y minerales, y con la elección adecuada de los áridos, se pueden conseguir propiedades superiores a las del hormigón convencional (Condor, 2014).

Los aditivos mejoran las características físicas y mecánicas que permiten el desarrollo de nuevas formas de fabricación del concreto (Gallegos & Guadalupe, 2009). Las adiciones mencionadas pueden brindar al hormigón un incremento en la resistencia que puede ir desde el 20% al 50% (Aullaca & Amen, 2009).

Para lograr una alta resistencia se debe trabajar con baja relación agua – material cementante (a/c), con valores entre 0.20 y 0.32, lo que significa que tendrá una trabajabilidad mala, para obtener una trabajabilidad y asentamiento adecuado se debe utilizar un aditivo químico plastificante (Huincho, 2011).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GENERAL

Por medio de investigación experimental, determinar y comparar las dosificaciones apropiadas para elaborar un hormigón de alta resistencia, teniendo como base una resistencia específica de 55 MPa, utilizando agregados finos y gruesos de la cantera de Pifo, cemento Holcim tipo GU, aditivo plastificante, aditivo de microsílíce de la fundidora FUNDIRECICLAR y aditivo de microsílíce RHEOMAC SF100.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Realizar ensayos para caracterizar a los áridos provenientes de los yacimientos de Pifo, y ensayos del cemento Holcim GU para verificar si se encuentran en condiciones para diseñar y elaborar el hormigón de alta resistencia.
- Elaborar pruebas de laboratorio para establecer las características fisicoquímicas de los aditivos de microsílíce de la fundidora “FUNDIRECICLAR” y del aditivo de microsílíce “SF-100”, para verificar si estos componentes se encuentran en condiciones apropiadas para la elaboración de hormigones de alta resistencia.
- Analizar la influencia en el concreto cuando se añaden diferentes tipos de microsílíce y superplastificante a la mezcla mediante ensayos de resistencia a la compresión axial de especímenes cilíndricos a los 7, 28 y 90 días de edad.
- Determinar por medio de pruebas de laboratorio las proporciones óptimas de aditivo mineral y de aditivo plastificante que se deben agregar a las mezclas para producir un concreto de alta resistencia.

1.3 ALCANCE

En la presente investigación se dará información sobre los componentes del hormigón de alta resistencia, sus cualidades físicas, mecánicas y químicas (Domenech & Espinoza, 2016), que cumplen con el desempeño y la uniformidad, combinación que no siempre se consigue por componentes y procedimientos tradicionales (Carrión, 2014).

Este estudio se enfoca en el diseño, desarrollo y comparación de dosificaciones de hormigones de alta resistencia. La diferencia entre estas dosificaciones será los dos tipos de contenido de microsílíce utilizados como porcentajes de reemplazo del cemento respectivamente, uno obtenido de la empresa “FUNDIRECICLAR” que no se encuentra normado, y otro microsílíce que acata los requisitos de la norma ASTM C1240. También se emplearán agregados comúnmente utilizados en Quito como son los de Pifo, que poseen características mecánicas y físicas que satisfacen a sus respectivas normativas, y con adición de un aditivo plastificante, buscando analizar el comportamiento de estos hormigones en su estado tanto fresco como endurecido a edades de 7, 28 y 90 días.

Uno de los objetivos del trabajo también es estudiar la influencia del microsílíce producido por la compañía “FUNDIRECICLAR”, y del microsílíce “SF-100” en el hormigón.

Para obtener una buena calidad de hormigón se deben establecer las propiedades físico-mecánicas de los áridos, y de esta manera saber si cumplen con la normativa INEN, así como el análisis de los aditivos de microsílíce que en general son materiales residuales; utilizado en esta clase de hormigones, este aditivo mineral disminuye la cantidad de cemento a ser empleado y a su vez, reduce la contaminación ambiental.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El aprovechamiento del microsílíce, reduce el gasto de los recursos procedentes de la explotación minera, además disminuye las emanaciones de CO₂, favoreciendo al desarrollo de una economía sustentable con la finalidad de no alterar al medio ambiente (Frias & Sanchez, 2002).

CAPÍTULO 2

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA

Están constituidos con materiales de construcción como el cemento, agregados granulares finos y gruesos, agua de mezclado y en la mayoría de las ocasiones se coloca aditivo tanto mineral como químico, estos materiales deben cumplir con características físico-mecánicas y con las normas de calidad respectivas, ya que estos ayudarán a obtener resultados coherentes y de esta manera se podrá conseguir una mezcla consistente y homogénea (Hidalgo & Mora, 2016).

2.2 COMPONENTES DEL HORMIGÓN Y SUS CUALIDADES FÍSICO – MECÁNICAS

2.2.1 EL CEMENTO

Se caracteriza por ser un aglutinante hidráulico con propiedades de cohesión y adherencia. Es un material inorgánico de cierta finura que, al combinar con agua se crea un gel o pasta, que luego se endurece y solidifica por reacción de hidratación, a su vez, persiste, teniendo estabilidad (Luna, 2014).

Tabla 1.

Compuestos y contenido porcentual del cemento.

Óxido	Contenido (%)
CaO	60 - 67
SiO ₂	17 - 25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0.5 - 6.0
MgO	0.1 - 4.0
--	0.2 - 1.3
SO ₃	1 - 3

Fuente: (Jami & Narvaez, 2021)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

El cemento que se va a emplear en el mezclado del hormigón es el HOLCIM FUERTE TIPO GU, sus características principales son la durabilidad, el desempeño

y resistencia cumpliendo el estándar de la norma NTE INEN 2380. Tiene una excelente resistencia mecánica, mejora la trabajabilidad de las mezclas, reduce la exudación y la segregación (HOLCIM, 2022).



Figura 1. Cemento Holcim tipo GU
Elaborado por: (Díaz & Terán)

Se tiene como recomendaciones:

- Utilizar agua potable para su mezcla.
- Almacenar en un lugar adecuado.
- Se debe utilizar cierta cantidad de agua para su respectiva trabajabilidad de mezcla.
- Se mezcla completamente los materiales hasta obtener una pasta uniforme.

Se tiene como usos:

- Para concretos estructurales como los plintos, vigas, riostras, cadenas, columnas, losas, muros, etc.
- Para pavimentos y vías.
- Como mortero para pisos, pegado de bloque, enlucidos.
- Para la albañilería en general.

Se tiene como beneficios:

- Reducción de la exudación y segregación.
- Una buena trabajabilidad en mezclas.

- Muy buen desempeño en estado fresco como fraguado.
- Adecuada resistencia.

En el Ecuador existen diversas empresas que fabrican cemento y distribuyen a nivel nacional sacos con peso de 50 kg.

Tabla 2.

Tipos de cementos en el Ecuador.

TIPO	DESCRIPCIÓN		NORMA	
			INEN	ASTM
PUROS	I	Uso común	152	C150
	II	Moderada resistencia a sulfatos	152	C150
		Moderado calor de hidratación		
	III	Elevada resistencia inicial	152	C150
	IV	Bajo calor de hidratación	152	C150
	V	Alta resistencia a la acción de los sulfatos	152	C150
Los tipos IA, IIA y IIIA incluyen incorporador de aire				
COMPUESTOS	IS	Portland con escoria de altos hornos	490	C 595
	IP	Portland puzolánico	490	C 595
	P	Portland puzolánico (Cuando no se requiere resistencias iniciales altas)	490	C 595
	I(PM)	Portland puzolánico modificado	490	C 595
	I(SM)	Portland con escoria modificado	490	C 595
	S	Cemento de escoria	490	C 595
POR DESEMPEÑO	GU	Uso en construcción en general	2380	C 1157
	HE	Elevada resistencia inicial	2380	C 1157
	MS	Moderada resistencia a sulfatos	2380	C 1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2380	C 1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2380	C 1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2380	C 1157
	Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con áridos álcali-reactivos			

Fuente: (INECYC, 2007)
Elaborado por: (Díaz & Terán)

2.2.2 LOS AGREGADOS

EL AGREGADO FINO

El agregado fino o también llamado árido fino, proviene de los depósitos volcánicos, canteras, ríos o lagos que después son triturados mediante máquinas para así luego tamizar y luego clasificarlo por diferentes tamaños. Si se utiliza arena de mar, hay que lavarla con agua dulce para reducir el contenido de sal y luego utilizarla para fabricar hormigón. (Luna, 2014).

Tabla 3.

Requisitos para la gradación del agregado fino

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 um (No. 30)	25 a 60
300 um (No. 50)	5 a 30
150 um (No. 100)	0 a 10
75 um (No. 200)	0 a 3.0 A-B

A.- Para hormigón no sujeto a abrasión, el límite para material más fino que los 75 um (El No200) de tamiza será el máximo del 5.0%.
 B.- Para penalidad fabricada u otro conjunto reciclado, si el material más fino que el 75 um (No200) de tamiz consiste en el polvo de fractura, esencialmente sin la arcilla o pizarra, este límite será el 5% para el hormigón sujeto a abrasión y máximo del 7% para hormigón no sujeto a abrasión.

Fuente: (ASTM C33, 2018)
Elaborado por: (Díaz & Terán)



Figura 2. Agregado fino
Elaborado por: (Díaz & Terán)

EL AGREGADO GRUESO

El agregado grueso o también llamado ripio, proviene de los depósitos volcánicos, canteras, ríos o lagos que después son trituradas mediante máquinas para así luego tamizar y luego clasificarlo por diferentes tamaños. Son de forma alargada, con aristas y de alta rugosidad que se provee para un hormigón dócil, al que se le aumenta arena y cemento teniendo como resultado una integración del hormigón (Luna, 2014).

La granulometría de los áridos gruesos se determina en función de la granulometría nominal., colocando en forma ordenada los tamices. El módulo de finura debe ser superior al módulo del agregado fino (Luna, 2014).



Figura 3. Agregado grueso
Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 4.*Requisitos para la gradación del árido grueso*

Numero de tamaño	Tamaño nominal (tamices con aberturas cuadrada)0	Cantidades con una fuerza mayor a la del tamiz de cada laboratorio (aberturas cuadradas), porcentaje en masa.													
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 ½ pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 ½ pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37.5 mm (1 ½ pulg.)	25 mm (1 pulg.)	19 mm (3/4 pulg.)	12.5 mm (1/2 pulg.)	9.5 mm (3/8 pulg.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 um (N° 50)
1	de 90 a 37.5 mm (de 3 ½ a 1 ½ pulg.)	100	de 90 a 100	....	De 25 a 60	....	De 0 a 15	....	De 0 a 5	....	....	....	....	....	....
2	de 63 a 37.5 mm (de 2 ½ a 1 ½ pulg.)	....	....	100	de 90 a 100	de 35 a 70	de 0 a 15	....	De 0 a 5	....	....	....	....	....	....
3	de 50 a 25.0 mm (de 2 a 1 pulg.)	....	....	....	100	de 90 a 100	de 35 a 70	de 0 a 15	....	De 0 a 5	....	....	....	....	....
357	de 50 a 4.75 mm (de 2 pulg a N° 4)	....	....	....	100	de 95 a 100	....	de 35 a 70	....	De 10 a 30	....	De 0 a 5	....	....	....
4	de 37.5 a 19.0mm (de 1 ½ a ¾ pulg.)	....	....	....	....	100	de 90 a 100	de 20 a 55	de 0 a 15	....	De 0 a 5	....	....	....	....
467	de 37.5 a 4.75mm (de 1 ½ pulg. N°4.)	....	....	....	....	100	de 95 a 100	....	De 35 a 70	....	De 10 a 30	de 0 a 5	....	....	....
5	de 25.0 a 12.5 mm (de 1 a ½ pulg.)	....	....	....	....	....	100	de 95 a 100	de 20 a 55	de 0 a 10	de 0 a 5	....	....	....	....
56	de 25.0 a 9.5 mm (de 1 a 3/8 pulg.)	....	....	....	....	....	100	de 95 a 100	de 40 a 85	de 10 a 40	de 0 a 15	de 0 a 5	....	....	....
57	de 25.0 a 4.75 mm (de 1 pulg. A N°4)	....	....	....	....	....	100	de 95 a 100	....	De 25 a 60	....	De 0 a 10	de 0 a 5	....	....
6	de 19.0 a 9.5 mm (de ¾ a 3/8 pulg.)	....	....	....	....	....	....	100	de 90 a 100	de 20 a 55	de 0 a 15	de 0 a 5	....	....	....
67	de 19.0 a 4.75 mm (de ¾ pulg a N°4)	....	....	....	....	....	....	100	de 90 a 100	....	De 20 a 55	de 0 a 10	de 0 a 5	....	....
7	de 12.5 a 4.75 mm (de ½ pulg a N°4)	....	....	....	....	....	....	....	100	de 90 a 100	de 40 a 70	de 0 a 15	de 0 a 5	....	....
8	de 9.5 a 2.36 mm (de 3/8 pulg a N°8)	....	....	....	....	....	....	....	....	100	de 85 a 100	de 10 a 30	de 0 a 10	de 0 a 5	....
89	de 9.5 a 1.18 mm (de 3/8 pulg a N°16)	....	....	....	....	....	....	....	....	100	de 90 a 100	de 20 a 55	de 5 a 30	de 0 a 10	de 0 a 5
9ª	de 4.75 a 1.18 mm (de N°4 a N°16)	....	....	....	....	....	....	....	....	....	100	de 85 a 100	de 10 a 40	de 0 a 10	de 0 a 5

A.- El agregado con numero de tamaño 9 se define en la Terminología C125 como un agregado fino. Se incluye como agregado grueso cuando se lo combina con un material con un numero de tamaño 8 para crear un numero de tamaño 89, que, según lo definido por la Terminología C125, es un agregado grueso

Fuente: (ASTM C33, 2018)
Elaborado por: (Díaz & Terán)

2.2.3 AGUA DE AMASADO

El agua que se va a mezclar con los demás materiales debe ser agua potable, correspondiente a la cantidad de hormigón necesaria por unidad de volumen, para hidratar las partículas de cemento asegurando la trabajabilidad en el momento de la aplicación. El agua que se utiliza para la mezcla de un hormigón convencional es la misma que se utiliza para la mezcla de un hormigón de alta resistencia. Debe tenerse en cuenta que tiene que ser agua cristalina, no debe utilizarse agua que posea ciertas sustancias dañinas como las sales, aceites, álcalis, ácidos o materiales orgánicos (Jácome, 2015).

Se toma en cuenta para la aprobación del agua la norma (NTE INEN 1108, 2011) y para la mezcla de hormigón del cemento hidráulico la norma (NTE INEN 2617, 2012).



Figura 4. Agua de mezclado

Elaborado por: (Díaz & Terán)

2.2.4 MICROSÍLICE Y PLASTIFICANTE

2.2.4.1 MICROSÍLICE

El microsíllice llamado también humo de sílice, es una puzolana artificial que es comercializada en la actualidad, presentando dos características fundamentales al dióxido de silicio como de extrema finura y de estado amorfo, la cual se obtiene a partir de la fundición de chatarra, ya que es materia prima redondeada al 100% de pequeñas adiciones ferro-aleaciones, desoxidantes, hierro y materiales ferrosos (Alaejos & Fernández, 1994).

El humo de sílice se lo extrae de los hornos de arco eléctrico, luego de retirar el fundido se realiza un tratamiento fisicoquímico para mantener sus propiedades en condiciones adecuadas. Actualmente, al microsíllice se lo usa como adición al cemento y al concreto, mejorando las propiedades del hormigón (fresco y endurecido), e incrementando la durabilidad y la resistencia (Portugal, 2007).

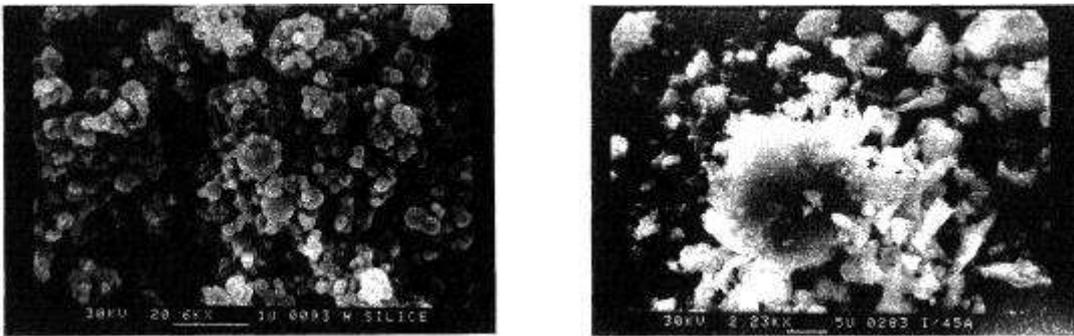


Figura 5. Humo de sílice a través de un microscopio electrónico a 20000 aumentos.

Fuente: (Alaejos & Fernández, 1994)

Propiedades físicas del microsíllice.

El microsíllice tiene características comunes como, por ejemplo, es de diámetro muy pequeño, es amorfo, alto contenido de sílice, se lo condensa por vapor de dióxido de silicio, etc.

- **Color**

Varía entre colores de gris a oscuro, debido a que es incoloro el dióxido de silicio (SiO_2), el color del microsíllice será definido por sus componentes no silicios incluyendo el óxido de hierro y el carbón. En general, mientras mayor sea el contenido de carbono, más oscuro será el microsíllice. El color también es afectado debido al proceso de fabricación como es la temperatura del horno, tipo de producto que se fabrica (aleación metálica) (ACI 234R-96, 2000).

- **Densidad**

El humo de sílice tiene una gravedad específica de alrededor de $2,2 \text{ gr/cm}^3$, pero puede variar el valor de acuerdo con el productor, ya que posee alto contenido de carbón y se refleja con una menor densidad. La densidad aparente se encuentra entre 130 a 430 kg/m^3 , siendo como 300 kg/m^3 un valor aceptado (Portugal, 2007).

En la tabla 5 se visualiza los resultados de la densidad del humo de sílice de varias fuentes. La diferencia de densidad se atribuye a los componentes que no son sílice.

Tabla 5.

Densidad del humo de sílice en función del tipo de aleación

Tipo de aleación de silicio	Densidad (gr/cm ³)
Si	2,23
Si y FeSi-75 %	2,26-2,27
FeSi-75 %	2,21-2,23
FeSi-50 %	2,3

Fuente: (ACI 234R-96, 2000)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

- **Composición química**

El humo de sílice es un producto con una composición química constante, pero ésta puede cambiar si se dopa con silicio, que también se encuentra como materia prima en la naturaleza, o del tipo de chatarra fundida. Se predomina al dióxido de sílice (SiO₂) con más del 90% en la composición química y la mayoría de esos humos se encuentran en estado amorfo. El microsíllice varía dependiendo de la aleación que produce, es decir, en un horno ferro silíceo, los humos contienen más magnesio y óxido de hierro que de un horno que produce solo silicio (ACI 234R-96, 2000).

Tabla 6.

Rangos en porcentaje de las composiciones químicas.

Óxido	%
SiO ₂	90 - 93
Al ₂ O ₃	0.5 - 0.6
Fe ₂ O ₃	3.4 - 4.5
MgO	0.3 - 0.5
CaO	0.5- 0.8
Na ₂ O	0.1 - 0.3
K ₂ O	1.0 - 1.2
CaO	1.3 - 3.6
SiO ₂	0.1 - 0.2
C + S	1.4 - 3.8
SO	0.4 - 1.3
H ₂ O	0.0 - 4.8

Fuente: (ACI 234R-96, 2000)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

- **Cristalinidad**

Las pruebas de difracción RX muestra que el microsílíce es amorfo, dando a conocer que alrededor del área cristobalita cristalina, no se presentan cantidades significativas en la cristobalita cuando existe la ausencia de un material diferente (Portugal, 2007).

- **Variabilidad**

El humo de sílice produce variaciones estacionales dentro de la fuente del horno debido a la edad o al estado de este. Al cambiar los materiales de fundición se produce silicio o la aleación del silicio causando variaciones en el humo de sílice recogido del horno, si se cambia la aleación de silicio del horno, el humo de sílice que se recupera también se cambiará (ACI 234R-96, 2000).

Relación entre propiedades físico - químicas, y el rendimiento del hormigón

En la actualidad, la relación entre las variaciones físicas y químicas del microsílíce y el rendimiento del hormigón no está bien establecida. A veces se supone que cuanto mayor sea el contenido de SiO_2 de una microsílíce, más reactiva será en el hormigón. Sin embargo, la comisión no dispone de datos que relacionen directamente el rendimiento con el contenido de SiO_2 . Un mayor contenido de SiO_2 implica que hay menos componentes distintos del SiO_2 (ACI 234R-96, 2000).

2.2.4.1.1 Microsílíce de FUNDIRECICLAR

La materia producida en la empresa "FUNDIRECICLAR" son las escorias negras o también llamadas escorias siderúrgicas que están constituidas por sílico-aluminato cálcico y otros compuestos encontrándose en pequeñas cantidades como el óxido de hierro, manganeso, hierro metálico, sulfuro de calcio, sulfuro de manganeso y también una libre sílice (Gaspar, 1976).

Las escorias de horno de arco eléctrico deben cumplir con varios requisitos para luego ser empleadas en la construcción, fijándose en su cristalinidad, composición mineralógica etc. Las escorias deben pasar por un proceso de desulfuración, de

enfriamiento, etc., estas al momento de ser enfriadas, pasan a un estado cristalino de baja porosidad (Gaspar, 1976).

El proceso de fundición de la chatarra consta de dos etapas, la primera etapa es la fusión donde se juntan todas las materias primas en el horno de arco eléctrico, teniendo como resultado una escoria negra en un fundido líquido y la segunda etapa es el afino del líquido derretido. Las escorias forman parte de aproximadamente el 15% del total de la fundición teniendo como resultado el reciclaje, utilización y valoración de la escoria negra (Santamaria, 2015).

Las escorias negras pese a sus buenas cualidades presentan inconvenientes con respecto a su inestabilidad volumétrica, debido a sus componentes como: cal libre, magnesia libre, sulfuros, contenidos altos de óxidos de manganeso, óxidos de hierro, etc., que con la reacción del agua y del cemento, estos componentes aumentan de volumen considerablemente, que como consecuencia se obtienen pérdidas de las propiedades del hormigón por el uso de estos subproductos industriales. Es posible que la falta de estabilidad de la escoria negra esté provocada por el alto contenido de magnesia (MgO), en forma de periclusa, cuyos cristales reaccionan con el agua a la temperatura ambiente durante mucho tiempo, provocando tensiones internas en el concreto endurecido y dando lugar a la desintegración y fisuración del hormigón (Frias & Sanchez, 2002).

El valor del índice de refracción de la escoria varía entre 1.64 y 1.67, permitiéndonos saber que el índice de refracción rica en cal es superior al 1.65.



Figura 6. Escoria negra
Fuente: (CEDEX, 2013)

2.2.4.1.2 Microsílice SF-100

Se trata de un aditivo mineral compacto a base de microsílice que, al mezclarse con mortero u hormigón, se vuelve más duradero y resistente con unas características de rendimiento especiales. Este microsílice, al mezclarse con las partículas de cemento disminuye la porosidad, lo permeable y el número de capilares que permiten el ingreso de contaminantes al hormigón (BASF, 2006).

Su aplicación:

- Para una buena dosificación se usa al microsílice SF-100 con un rango de 5 a 15% del peso del cemento.
- Para un buen mezclado se adiciona el microsílice como se lo adiciona el cemento en la mezcladora para así tener un buen concreto.

Uso recomendado:

- Para estructuras de concreto reforzado.
- Para estructuras como puentes, minas, túneles, etc.
- Para proyecto constructivo que requiere un hormigón durable y permeabilidad baja.
- Para proyectos que requieren hormigón de alta resistencia que este a su vez reduce el tamaño, mejora costos estructurales y cumple con los requisitos de alto desempeño.

Ventajas:

- Mayor cohesión
- Menor exudación
- Mayor vida útil
- Máxima resistencia y módulo de elasticidad
- Poco permeable permitiendo una máxima durabilidad
- Mejora la resistencia al reactivo de sílice alcalino.

Resistencia a la compresión del microsílíce SF-100

Como puzolana, el microsílíce reacciona químicamente con el cemento, aumentando la cantidad de silicato cálcico hidratado formado. El silicato de calcio hidratado mantiene como agente adherente a la matriz del hormigón en su estado endurecido (BASF, 2006).

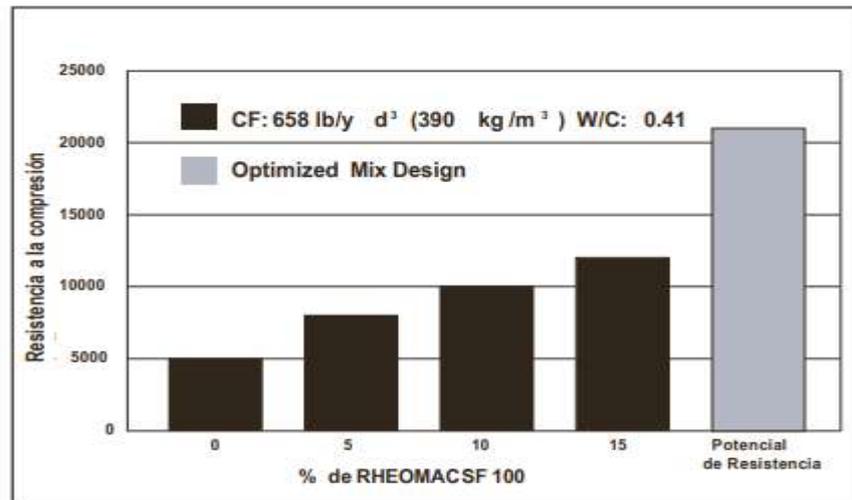


Figura 7. Resistencia a la compresión típica.
Fuente: (BASF, 2006)

2.2.4.2 PLASTIFICANTE

Debe utilizarse un superplastificante reductor de agua de tipo F conforme a ASTM C494/C494M, llamado "Sikament N-100", es de color café oscuro, con un olor característico. Se adiciona al hormigón disolviendo en una porción de agua, se tiene un 30% de agua de mezcla para conseguir el manejo inicial y el aumento de la fuerza de todas las edades, al usar este aditivo se economiza el cemento teniendo como resultado una consistencia fluida bombeable, obteniendo mezclas requeridas y también se puede usar como superplastificante de los concretos elaborados que tengan adiciones de microsílíce (Sika, 2020).

Se utiliza este aditivo como superplastificante para un concreto fresco como endurecido. A continuación, se tienen los siguientes beneficios de su uso:

- Facilita el bombeo del concreto como la colocación de este a distancias largas como a mayor altura.

- Brinda un mejoramiento en la trabajabilidad de la mezcla.
- Para las estructuras densamente esbeltas y armadas reduce el riesgo de hormigueros del concreto.

También se utiliza como potente aditivo reductor de agua (HRWR) para hormigón tanto en estado fresco y endurecido con las siguientes ventajas:

- Incrementa su resistencia inicial del hormigón.
- Incrementa su resistencia final del hormigón hasta aproximadamente el 40% después de 28 días.
- Reduce la impermeabilización en el concreto y aumenta su durabilidad.



Figura 8. SIKAMENT N-100
Fuente: (Sika, 2020)

2.3 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO (FÍSICAS Y MECÁNICAS)

El hormigón en este estado es una mezcla de cemento, áridos y agua, que se encuentran en una fase blanda y que aún puede moldearse y compactarse antes de endurecerse y/o curarse (Jácome, 2015).

La mixtura de estos elementos produce reacciones químicas que brindan propiedades al hormigón desde el momento en que se mezclan y que, al mismo tiempo, determina las propiedades en su estado solidificado (Hernández, 2007).

El hormigón en estado fresco presenta las siguientes propiedades:

2.3.1 CONSISTENCIA

Es el grado de dificultad del concreto en fase blanda o en estado fresco para ser deformado, en el que todas las partículas de cemento están hidratadas y adquieren cierta flexibilidad. Ocurre de acuerdo con ciertas causas como la cantidad de agua añadida, el tamaño del árido grueso, granulación y de la conformación de los agregados en la mezcla (Jiménez Montoya, García, & Morán, 2000).

Empleando el cono Abrams, es un recipiente metálico de 30cm de altura, este, una vez colocado en un sitio fijo, se lo rellena de concreto. Posteriormente desencofrada la masa de hormigón fresco, puede determinarse su consistencia midiendo el descenso del hormigón en centímetros.

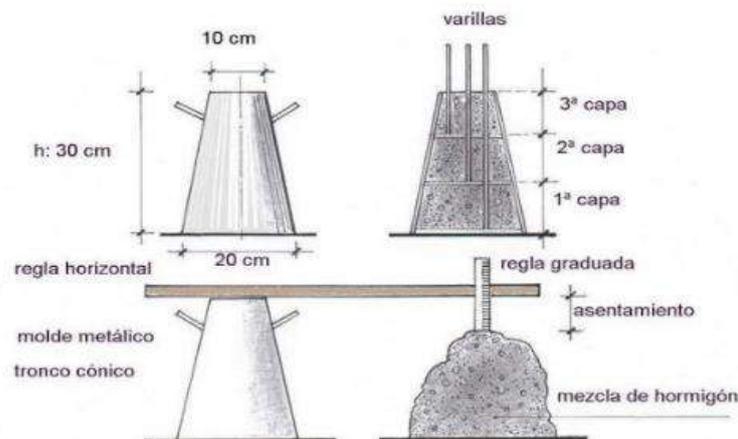


Figura 9. Cono de Abrams y su uso para medir el asentamiento
Fuente: (Chiluisa, 2014)

Tabla 7.

Consistencia de los hormigones.

Consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0-3
Semi seca	3-5
Media	5-10
Húmeda	10-15
Muy húmeda	> 15

Fuente: (Jiménez Montoya, García, & Morán, 2000)
Elaborado por: (Díaz & Terán)

La presencia de microsílíce no tiene un impacto significativo sobre la disminución del asentamiento de una mixtura de hormigón determinada. Sin embargo, la microsílíce suele utilizarse junto a un aditivo plastificante, por lo que la elección del

aditivo químico puede provocar un cambio en el asentamiento de la mezcla. Los diferentes aditivos químicos tienen diferentes tasas de disminución de hundimiento. Para determinar el nivel de asentamiento necesario, es aconsejable realizar pruebas con los materiales del proyecto (ACI 234R-96, 2000).

2.3.2 TRABAJABILIDAD

Es el grado de dificultad para manipular, mover, colocar y compactar el hormigón fresco con poca pérdida de homogeneidad, sin dejar de tener en la mezcla una adecuada consistencia y cohesión. Se puede calificar generalmente a la mezcla entre un rango de muy buena a muy mala (Jácome, 2015).

Elementos que intervienen en la trabajabilidad:

- Volumen de agua utilizado
- Contenido de cemento
- Tamaño de áridos.
- Tipo de áridos.

La mayoría de los atributos del hormigón, como es la adherencia, compacidad, masa específica, impermeabilidad y la resistencia, dependen de la consistencia (Condor, 2014).

2.3.3 COHESIÓN

Esta propiedad permite que los áridos se adhieran y aglutinen adecuadamente al gel o pasta producido por la mixtura de agua y material cementoso, evitando así la segregación (áridos gruesos por un lado y áridos finos por otro), y optimizando la trabajabilidad en la obra. Este aspecto está estrechamente relacionado con la consistencia, siendo la finura del cemento el factor dominante (Andrade & Flores, 2016). El hormigón que contiene microsílíce y aditivo químico es más cohesivo en estado fresco y tiene menor exposición a la segregación que el hormigón normal.

2.3.4 MASA ESPECÍFICA

La gravedad específica (densidad) del hormigón fresco, compactado o no, es muy importante como indicador de la homogeneidad del hormigón durante la construcción. Los cambios en estos dos valores que afectan a la consistencia indican una mayor proporción de agregado, contenido de cemento o agua de amasado y deben corregirse en consecuencia (Jiménez Montoya, García, & Morán, 2000). El empleo de microsílíce no cambiará significativamente la masa específica unitaria del hormigón. Cualquier cambio en este valor es el resultado de otros cambios en las proporciones del hormigón (ACI 234R-96, 2000).

Dependiendo del tamaño máximo del agregado, se muestran a continuación varios valores aproximados para la masa específica.

Tabla 8.

Valores medios de gravedad específica según del tamaño máximo del árido.

Tamaño máximo del árido (mm)	Valor aproximado de la gravedad específica del hormigón fresco (kg/m ³)	
	Hormigón sin aire incorporado	Hormigón con aire incorporado
10	2,278	2,189
12,5	2,307	2,23
20	2,349	2,278
25	3,379	2,313

Fuente: (Jiménez Montoya, García, & Morán, 2000)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

2.4 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO (FÍSICAS Y MECÁNICAS).

El estado endurecido del concreto es una fase donde el cemento ha fraguado y ha perdido su plasticidad y formabilidad. Hay que prestar especial atención a estas propiedades, ya que determinan su funcionalidad durante su vida útil. Las más importantes son:

2.4.1 RETRACCIÓN

Es el decrecimiento del volumen del hormigón durante la etapa de endurecimiento, causado por reducción de agua (por evaporación). Esta disminución de volumen da

como resultado tensiones de tracción internas. El efecto en el hormigón puede ser grande o mínimo, provocando fisuras o incluso agrietamiento, según del contenido de agregado fino, el tipo, la cantidad y el grosor del cemento, la relación a/c o la temperatura ambiente (Chiluisa, 2014).

La retracción presenta tres clases, las que se mencionan a continuación:

- Retracción plástica.

Retracción que genera una alteración en la cantidad de pasta de cemento (1% del volumen total del cemento áspero). Este fenómeno se ve agravado por la gasificación del agua, que provoca grietas en la superficie.

- Retracción autógena.

Es el resultado de cambios de volumen (contracción y expansión) en el hormigón fraguado y también puede producirse en caso de curado prolongado o cuando se altera la circulación de la humedad.

- Retracción debido al secado.

Esta retracción se debe a que existe pérdida de líquido debido al secado por medio de los poros y vacíos del hormigón.

2.4.2 DENSIDAD

Esta propiedad depende de algunos factores, especialmente del tipo de árido empleado, su contextura y del método de compactación utilizado. Mientras más denso es el árido utilizado, cuanto más agregado grueso bien clasificado contenga, y cuanto mejor se compacte, más denso será (Jiménez Montoya, García, & Morán, 2000).

En cualquier caso, el peso específico del concreto apenas varía, por lo tanto, para el diseño pueden utilizarse cifras de 2300kg/m^3 para el concreto en masa y para hormigón armado 2500kg/m^3 respectivamente. Los valores mencionados corresponden al hormigón normal. El hormigón pesado; hecho de barita o agregados metálicos, tiene una densidad de 3000 kg/m^3 a 3500 kg/m^3 o superior,

se utiliza para la protección contra la radiación. El hormigón liviano; que utiliza áridos de bajo peso específico, como la piedra pómez, tiene una densidad de aproximadamente 1300 kg/m³ o inferior a 1000 kg/m³ (Jiménez Montoya, García, & Morán, 2000).

Tabla 9.

Tipo de hormigón según su densidad.

Tipo de Hormigón	Peso Unitario (kg/m ³)
Liviano	480-1600
Normal	2300-2500
Pesado	3000-5200

Fuente: (Luna, 2014)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

2.4.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Considerada como la propiedad mecánica fundamental del concreto. Se consigue a partir del fallo de muestras sometidas a cargas axiales. El valor de la resistencia se obtiene entre la relación de la carga máxima que resiste la muestra por el área transversal de la probeta (ASTM C39/C39M, 2020), resultando valores en Newton sobre milímetro al cuadrado (MPa).

El ensayo se realizará en especímenes cilíndricos de hormigón conforme con las normativas ASTM C31, ASTM C39 y NTE INEN 1573:2010. Se supone que la proporción es de 2:1 entre la altura y el diámetro de la muestra (Cajimela & Morales, 2020). Los ensayos se llevarán a cabo con los especímenes húmedos y se ensayarán durante un tiempo no superior al especificado en la tabla 10:

Tabla 10.

Tolerancia de tiempo de rotura de probetas cilíndricas para diferentes edades.

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0,5 h
3 días	± 2 h
7 días	± 6 h
28 días	± 20 h
90 días	± 2 días

Para las edades de prueba no enumeradas, la tolerancia de edad de prueba es ±2,0% de la edad especificada.

Fuente: (ASTM C39, 2020)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La resistencia a la compresión de diseño del concreto normal se alcanza 28 días después de que este fue mezclado y moldeado. También se puede comprobar la resistencia del hormigón después de 7 y 14 días, ya que a esas edades el hormigón alcanza aproximadamente el 40% y el 65% de su resistencia calculada, respectivamente.

Tabla 11.

Relación de resistencia de diseño del hormigón de acuerdo con sus días.

Resistencia a la compresión sobre probetas del mismo tipo					
Edad del hormigón (días)	3	7	28	90	360
Hormigones de endurecimiento normal	0,4	0,65	1	1,2	1,35
Hormigones de endurecimiento rápido	0,55	0,75	1	1,15	1,2

Fuente: (Valcuende , Serrano, Empar, & Gil, 2020)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

2.4.3.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

- **Relación agua – material cementoso (a/c)**

Si se altera la mezcla de hormigón con una cantidad diferente de cemento o de agua a la dosificación calculada, la resistencia a la compresión será veré afectada, cuanto más cemento, mayor es el esfuerzo a la compresión soportado, pero, mientras que el agua de amasado añadido sea mayor, la resistencia será reducida, y viceversa. Para conseguir la relación agua-cemento deseada, se debe controlar la cantidad de agua y cemento en la mezcla del hormigón.

- **Contextura de los áridos**

Se relaciona con la cantidad de agua, y la calidad de la pasta o gel de cemento requerida para obtener una cobertura completa de las partículas y una adherencia completa entre el gel de cemento y los áridos. La resistencia del hormigón es afectada por la modificación de la granulometría de los agregados, si esto ocurre, se debe modificar la porción de pasta requerida para preservar el nivel de resistencia y conservar la cobertura total de las partículas. Además, la reducción del tamaño del árido grueso da lugar a un decrecimiento de la cantidad de vacíos y por consiguiente un incremento en la resistencia (Condor, 2014).

- **Humedad durante el transcurso del curado**

Es preciso asegurar un adecuado nivel de humedad durante el proceso de endurecimiento del hormigón para lograr un buen curado. Un curado inadecuado puede reducir significativamente la resistencia especificada. Mantener la temperatura y la humedad adecuada es necesario para lograr una resistencia y durabilidad óptima (Cajimela & Morales, 2020).

Hay varios factores físicos o ambientales que aceleran o retardan la hidratación con el tiempo, como presión, vapor, temperatura, el grado de relación a/c, esto puede aumentar o disminuir la resistencia con respecto al tipo de curado (Barluenga, 2008).

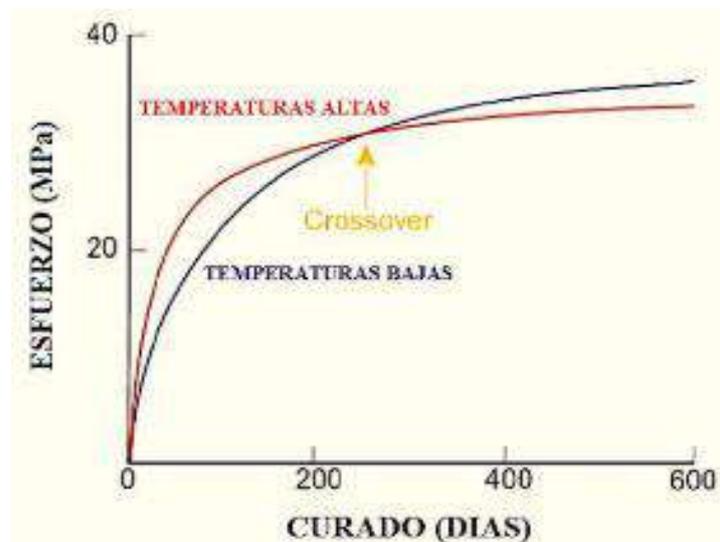


Figura 10. Esfuerzo del hormigón bajo temperaturas altas y bajas vs edades del hormigón
Fuente: (Barluenga, 2008)

2.4.4 PERMEABILIDAD

Es la facilidad con la que los líquidos pueden penetrar en el hormigón debido a la porosidad de la pasta o gel hidratado, por los agregados finos y gruesos, por una mala compactación o incluso por la exudación. El hormigón es muy permeable debido a la naturaleza de sus componentes, puesto que el agua logra introducirse en el concreto de dos maneras: por efecto capilar y debido a la presión. El factor de infiltración o de permeabilidad se determina en el laboratorio a través de pruebas. El concreto suele tener un factor de infiltración de 10^{-6} , y 10^{-10} cm/s (Chiluisa, 2014).

Se consideran estos puntos para prevenir la permeabilidad:

- Recurrir a una relación agua-cemento mínima en lo posible. Al mismo tiempo se debe obtener una adecuada trabajabilidad.
- Usar volumen de cemento mínimo posible, que no afecte a la resistencia u otras condiciones especificadas del proyecto.
- Emplear las proporciones correctas de los elementos del hormigón, especialmente de los agregados.

El hormigón de alta resistencia puede clasificarse como altamente impermeable debido a su relación agua-cemento ya que esta es muy baja, y por la adición de microsílice. Esto se debe a las numerosas reacciones provocadas por el silicato cálcico hidratado (CSH), que llena los poros que se formarían con el cemento Portland normal. Estos hormigones tienen una porosidad mucho menor, lo que los hace menos permeables que el hormigón convencional (Jácome, 2015).

2.4.5 MÓDULO DE ELASTICIDAD

Determina la facultad que tiene un elemento para deformarse de manera reversible y regresar a su condición original sin cambiar su contextura (ASTM C469/C469M, 2014). Obsérvese que este coeficiente es exclusivo para cada material y describe la relación entre el esfuerzo de compresión soportado y la deformación unitaria, representada en el rango elástico lineal de la curva esfuerzo vs deformación. Este coeficiente del hormigón de alta resistencia se diferencia de otros hormigones por su rigidez, contenido de cemento, contenido de agregados y por su ductilidad. Su valor en el hormigón depende de la resistencia a la compresión y del tiempo de rotura de la muestra cilíndrica (Jami & Narvaez, 2021).

Módulo de elasticidad del hormigón según la norma (NTE-INEN-SE-HM26-4, 2015).

$$E_c = 1.15 * \sqrt[3]{E_a} * \sqrt{f'_c}$$

Dónde:

Ec: Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa).

E_a : Módulo de elasticidad del agregado (GPa); para Pifo-Pichincha tiene un valor típico de 27.2 GPa.

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón (MPa).

2.4.6 VIDA ÚTIL

Capacidad que posee el hormigón de oponerse sin desgaste a los efectos físicos y químicos durante el tiempo útil de la estructura, también actúa como protector recubriendo el acero y elementos metálicos inmersos. Las causas que intervienen en la vida útil del hormigón son la porosidad, la resistencia ante los sulfatos, la reacción álcali-agregado y la propensión al agrietamiento (Aullaca & Amen, 2009).

2.4.7 COMPORTAMIENTO ELÁSTICO E INELÁSTICO

Todos los tipos de concreto tienen un rango inicial de comportamiento que es relativamente lineal (que se asemeja a un trazo recto en la gráfica esfuerzo-deformación), y elástico (cuando recobra su forma inicial luego de la descarga) ante la presencia incremental de cargas uniaxiales bajas (inferiores al 70 % de la carga de rotura), y una segunda sección que tiene un comportamiento inelástico no lineal ante cargas elevadas (parte curva de la gráfica de esfuerzo-deformación) (Condor, 2014).

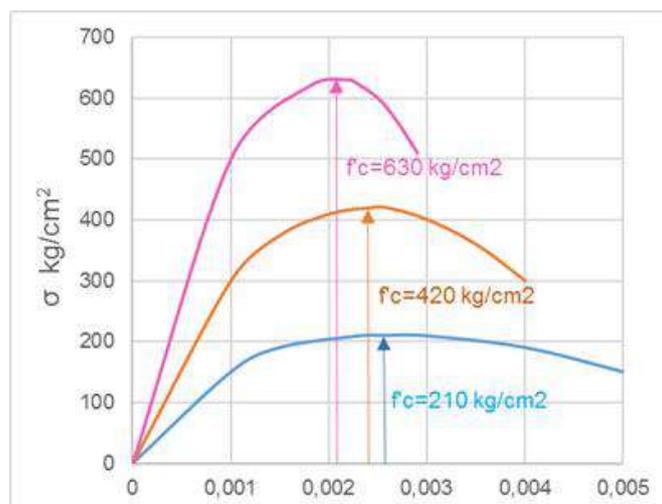


Figura 11. Curva esfuerzo - deformación del concreto sometidos a diferentes esfuerzos.

Fuente: (Romo, 2008)

Este tipo de hormigón es menos elástico que el hormigón tradicional, ya que tiene menor capacidad de deformarse antes de la rotura. La gráfica de esfuerzo-

deformación para esta clase de hormigón bajo compresión, muestra en la sección ascendente, un fragmento donde la deformación en el esfuerzo límite tiende a ser más lineal y más elevada, aumentando a medida que aumenta el nivel de esfuerzo (López, 2002).

2.4.8 DEFORMACIONES

Como cualquier material, el hormigón tiende a deformarse bajo carga, dependiendo de la intensidad de la carga y del tiempo de exposición al que se expone el espécimen. Al concreto se lo define como un pseudosólido por sus componentes (elástico-viscoso-plástico), ya que consta de una fase sólida; como agregados y el material cementoso, una fase fluida; como el agua, y una fase gaseiforme; como el contenido de aire (Chiluisa, 2014).

La curva de deformación con respecto al tiempo de una probeta cilíndrica de concreto sometido a compresión constante se muestra en la figura 12. La deformación inicial se produce cuando se aplica carga axial a la probeta de hormigón. Si se continúa aplicando la carga, la deformación aumentará en el intervalo de tiempo, aun cuando la carga no aumente. El aspecto de las curvas es aproximadamente idéntico para la flexión, la compresión, la tracción y la torsión. En esta figura se representa la contracción y el flujo plástico (Condor, 2014).

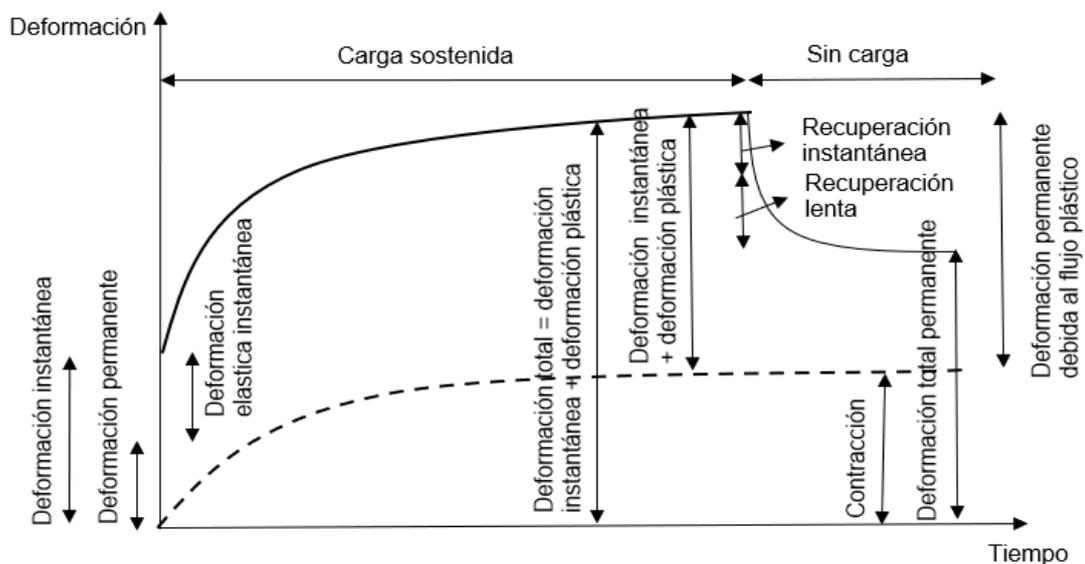


Figura 12. Curva deformación vs tiempo del hormigón (En condiciones ambientales constantes).

Fuente: (Condor, 2014)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Al aplicar una carga en un periodo insignificante de tiempo, se ha observado que el hormigón experimenta una primera deformación que puede considerarse instantánea. Mientras permanezca la carga, el hormigón continúa deformándose, inicialmente a un ritmo elevado, que se reduce progresivamente con el tiempo.

La curva puede considerarse asintótica con respecto a la horizontal, pero se ha demostrado que la distorsión continúa creciendo con el paso del tiempo. No obstante, la mayor distorsión se observa durante el primer año de carga: alrededor del 90%. Si en un momento dado se retira la carga, el espécimen se recupera rápidamente y luego lentamente. No existe la recuperación completa, ya que siempre existen deformaciones irreversibles.

La curva de trazo continuo de la figura 12 representa la deformación de la probeta sometida a una carga constante, que luego de un tiempo es retirada. La línea de discontinua simboliza la deformación de la probeta sin carga a lo largo del tiempo. El plano vertical de esta curva discontinua representa la deformación por el efecto de contracción.

La gráfica esfuerzo vs deformación cambia dependiendo de la resistencia a la rotura resistida por el concreto. Las curvas de la figura 13 para el hormigón con resistencia entre 250 kg/cm^2 y 1200 kg/cm^2 muestran que, mientras se incrementa el esfuerzo, el tramo inicial se aproxima a una línea recta y la rama descendente se hace más pronunciada, demostrando que cuanto mayor sea la resistencia soportada, más sensible es el comportamiento del concreto (González Cuevas, 2005).

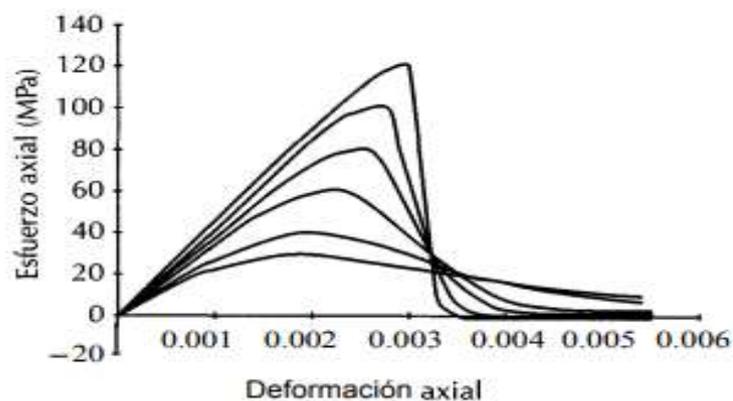


Figura 13. Efecto de la resistencia
Fuente: (González Cuevas, 2005)

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGÍA

3.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES PÉTREOS PARA HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA

3.1.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Para obtener un buen resultado de hormigón de alta resistencia, es necesario utilizar materiales que cumplan las especificaciones y obtener así los resultados esperados.

Los áridos seleccionados deben proceder de canteras que cumplan los certificados técnicos pertinentes, estos áridos no deben contener sustancias nocivas como un exceso de finos y materia orgánica.

El cemento utilizado debe cumplir la norma NTE-INEN 490:2011.

El agua debe ser potable y no contener productos químicos.

Los aditivos utilizados pueden ser minerales y químicos.

3.1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CANTERA SELECCIONADA

Para el siguiente estudio se utilizaron materiales pétreos de los yacimientos de Pifo, situado en el kilómetro 4,5 de la vía Pifo-Papallacta, provincia de Pichincha, parroquia Pifo. Esta cantera es conocida porque los materiales pétreos producidos, son utilizados por la planta más grande de Ecuador, Holcim, y se encuentra a 30 minutos en vehículo de la ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

La cantera de Pifo se encuentra en las siguientes coordenadas:

0°14'44.51" S
78°18'49.77" O

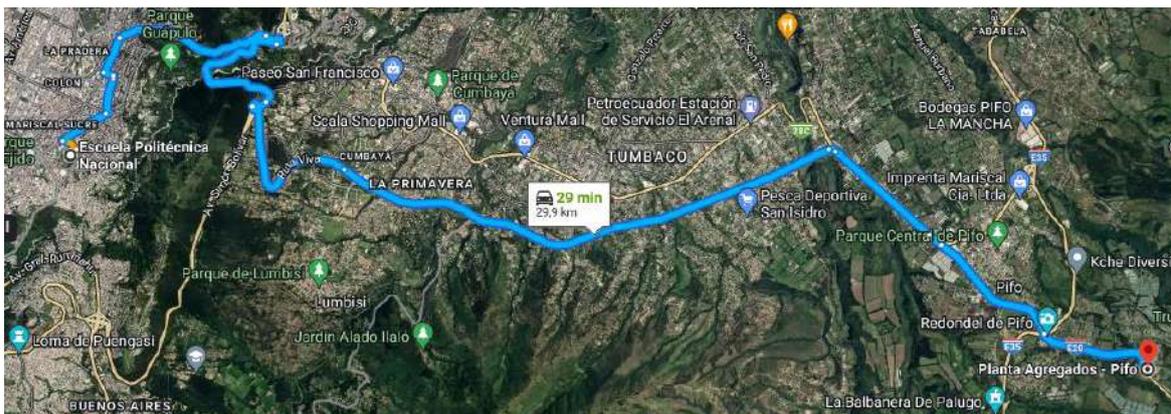


Figura 14. Ubicación de la cantera Pifo.
Fuente: (Google Maps)

3.1.2 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

La investigación de las propiedades tanto físicas como mecánicas de los áridos de los yacimientos de Pifo es muy importante, ya que constituyen casi el 80% del concreto. Para ello, se realizarán ensayos en el laboratorio LEMSUR que se encuentra ubicado en la planta baja de la Facultad de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional.

Los ensayos que se realizará de los agregados son los siguientes:

Tabla 12.

Ensayos de agregados con sus respectivas normas.

Ensayos	Norma INEN	Norma ASTM
Abrasión	860	C-131
Colorimetría	855	C-040
Densidad Real (Peso Específico)		
Agregado Grueso	857	C-128
Agregado fino	856	C-127
Capacidad de absorción		
Agregado Grueso	857	C-128
Agregado fino	856	C-127
Contenido de humedad	862	C-566
Densidad aparente suelta y compacta	858	C-029
Granulometría		C-136
Agregado Grueso	696	C-033
Agregado fino	696	C-125

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.1.2.1 ENSAYOS DE ABRASIÓN

Se la define a la abrasión como la resistencia al desgaste por fricción o abrasión de las partículas de árido grueso. Se realiza en una biseladora, que consiste en un tambor cilíndrico hueco de acero. La resistencia de la abrasión se utiliza como indicador de la calidad de los áridos y, a su vez, da alguna indicación sobre la capacidad de producir hormigón resistente (Rivera, 2013).

El porcentaje del desgaste dado por el árido grueso, es la diferencia dado por el peso inicial y final ya seco, si las pérdidas son menores al 40% significa que el material resiste el desgaste. El coeficiente de uniformidad se relaciona entre las 100 y 500 revoluciones en porcentaje, el material es uniforme si el coeficiente es menor de 0.20 (Chiluisa, 2014). Para realizar el ensayo de abrasión se ha tomado en cuenta la norma NTE-INEN 860 (ASTM C131/C131M, 2020).

Tabla 13.

Resultados de ensayo de abrasión.

Resultados del ensayo	
Muestra	Agregado grueso
Gradación	C
Numero de esferas	8
Peso inicial (g)	5000
Peso retenido en el tamiz #12 Luego de 100 revoluciones (g)	4686.7
Peso retenido en el tamiz #12 Luego de 500 revoluciones (g)	3679.5
Porcentaje de perdida 100 revoluciones (%)	6.27
Porcentaje de perdida 500 revoluciones (%)	26.41
Coeficiente de uniformidad	0.24

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.1.2.2 DENSIDAD REAL (PESO ESPECÍFICO)

La densidad se define como relación del peso y el volumen de masa, es una propiedad física de los áridos, este valor se utiliza para calcular la dosificación determinando la cantidad de árido que debe colocarse en el hormigón porque los poros internos de las partículas de árido ocuparán un determinado volumen en la masa de hormigón, y porque el agua queda atrapada en los poros saturados (Carrión, 2014).

Para determinar la densidad real, se realizaron ensayos basados en la norma para los áridos finos la NTE-INEN 856 (ASTM C127, 2015) y la norma para los áridos gruesos la NTE-INEN 857 (ASTM C128, 2015).

Tabla 14.

Resultado de ensayo de densidad real (peso específico).

Resultados del ensayo					
identificación	Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
032-I-1	Agregado fino	2.54	262	2.75	2.95
032-I-2	Agregado grueso	2.60	2.65	2.73	1.88

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.1.2.3 DENSIDAD APARENTE (SUELTA Y COMPACTA)

La densidad aparente compactada se transforma de peso a volumen o viceversa, lo que permite conocer los huecos o el grado de compactación de los áridos (Slave, 2011).

La relación masa-volumen del material se tiene como factor principal para las dosificaciones de mezclas del hormigón. Los agregados se tienen que considerar como base importante ya que su volumen de partículas no tiene la forma de un sólido y el mismo material contiene tantos vacíos internos, que son poros no saturados, y vacíos externos, que son poros saturados (Condor, 2014).

Para determinar la densidad aparente se realizaron ensayos basados de la norma NTE-INEN 858:83 (ASTM C029/C029M, 2017).

Tabla 15.

Resultados de la densidad aparente de agregados.

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS					
Identificación	Descripción	Muestra suelta		Muestra compacta	
		Densidad seca (kg/m³)	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m³)	Contenido de vacíos (%)
032-I-01	Agregado fino	1650	35	1803	29
032-I-02	Agregado grueso	1333	49	1481	43

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.1.2.4 CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

Se basa en el aumento de la masa agregada debido a que en los poros del material existe agua, sin tener en cuenta el agua existente en el exterior de las partículas, considerando como un porcentaje de masa seca. El árido se considera seco cuando el horno está a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Los agregados se sumergen durante 24 horas, luego se lo lleva a una densidad aparente (S.S.S), luego se pesa y se lo mete al horno para luego determinar el porcentaje de peso seco y a esta se la llama capacidad de absorción” (Huertas, 2011).

El ensayo de absorción para los áridos finos se realizó basándose en la norma NTE-INEN 856 (ASTM C-127) y para los áridos gruesos de la norma NTE-INEN 857 (ASTM C-128).

Tabla 16.

Resultado de la capacidad de absorción.

Resultados del ensayo					
Identificación	Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
032-I-1	Agregado fino	2.54	2.62	2.75	2.95
032-I-2	Agregado grueso	2.60	2.65	2.73	1.88

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.1.2.5 ENSAYO DE COLORIMETRÍA

Esta prueba colorimétrica se utiliza para determinar materia orgánica en pequeños agregados, que pueden consistir en tejido vegetal o animal compuesto de carbono y nitrógeno, idealmente blanco o transparente (Hidalgo & Mora, 2016).

Para esta prueba, el árido fino se coloca en una botella limpia y se agrega el 3% de sosa cáustica (NaOH). Luego se agita el recipiente para mezclar el agregado fino con el hidróxido de sodio y se deja reposar durante 24 horas, después se observa el tipo de coloración (Hidalgo & Mora, 2016).

Para determinar la prueba de colorimetría se realizaron ensayos basados en la norma NTE-INEN 855 (ASTM C40/C40, 2020).



Figura 15. Ensayo de contenido orgánico.
Fuente: (LEMSUR)

Tabla 17.

Resultado del tipo de color del contenido orgánico.

Color	Propiedades
Blanco claro a transparente	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas.
Amarillo pálido	Arena con poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad.
Amarillo encendido	Contiene materia orgánica en altas cantidades. Puede usarse en hormigones de baja resistencia.
Café	Materia orgánica en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad.
Café chocolate	Arena de muy mala calidad. Existe demasiada materia orgánica, limos o arcillas. No se usa.

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.1.2.6 CONTENIDO DE HUMEDAD

“Se requiere del porcentaje de contenido de humedad de los agregados para realizar ajustes por contenido de agua cuando se realice el diseño de mezclas de hormigón. El contenido de humedad en los agregados se puede encontrar en cuatro estados:

1. Los agregados deben encontrarse en estado seco, indicando que contiene agua mineralógica, luego los agregados se colocan en un horno con una temperatura de 100°C en un periodo de 24 horas.
2. Los agregados obtenidos de la cantera contienen una humedad debido a sus poros.
3. Los agregados se encuentran con los poros saturados, pero a su vez en estado seco, luego se aplica las normas para realizar los respectivos ensayos tanto para el agregado fino como agregado grueso.
4. Los agregados se encuentren totalmente saturados” (Cachiguano, 2014).

Para determinar el contenido de humedad se realizaron ensayos basados en la norma NTE-INEN 862 (ASTM C566, 2019).

Tabla 18.

Resultado de contenido de humedad de agregados.

No.	Identificación muestra	Masa natural (g)	Masa seca (g)	Contenido de humedad (%)
1	Agregado grueso	2000	1947	2.72
2	Agregado fino	500	498.8	0.24

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.1.2.7 GRANULOMETRÍA

Granulometría del agregado fino

Para conseguir una buena mezcla de hormigón de alta resistencia, el árido fino debe tener un módulo de finura alto o debe encontrarse entre 2,5 a 3,5. Las mezclas más pobres, en las que se utilizan finos con módulo de finura menor a 2,5, presentan una mala trabajabilidad y son más pegajosos, dando como resultado una mayor demanda de agua. Con la relación a/c constante y la selección correcta de

los agregados, puede utilizarse una amplia gama de tamaños de partículas sin que ello afecte notablemente a la resistencia (Flores, 2014).

El ensayo de granulometría para el agregado fino se realiza en base a la norma NTE-INEN 696 (ASTM C136/C136M, 2019), (ASTM C33, 2018), (ASTM C125, 2021).

Tabla 19.

Granulometría del agregado fino

Tamiz	Tamaño	Peso	Porcentaje	Porcentaje Rete.	Porcentaje
No.	Abertura (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Que pasa (%)
3/8"	9.50	0.00	0.0	0.0	100.0
No. 4	4.75	1.20	0.3	0.3	99.7
No.8	2.36	103.30	25.7	26.0	74.0
No.16	1.18	104.40	26.0	52.0	48.0
No. 30	0.60	67.90	16.9	69.0	31.0
No. 50	0.30	42.70	10.6	79.6	20.4
No. 100	0.15	26.90	6.7	86.3	13.7
No.200	0.08	16.80	4.2	90.5	9.5
Bandeja	-	38.20	9.5	100.0	0.0
Total		401.4	M. Finura	3.1	

Elaborado por: (Díaz & Terán)

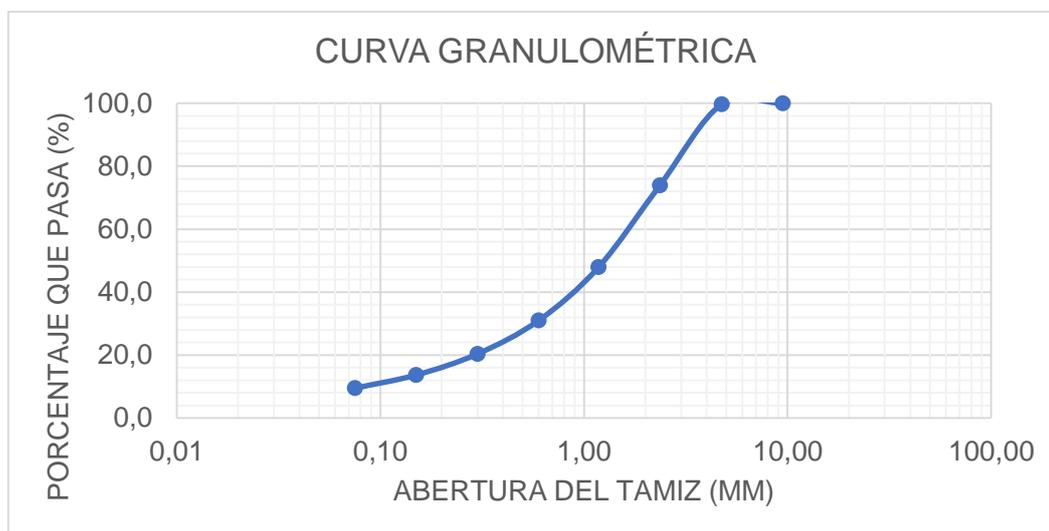


Figura 16. Curva granulométrica del agregado fino
Elaborado por: (Díaz & Terán)

Granulometría del agregado grueso

El tamaño máximo del árido grueso utilizado para el hormigón viene determinado generalmente por consideraciones económicas. Por lo general, cuando se utiliza agregado grueso de tamaño pequeño la mezcla necesita más cemento y agua que cuando se usa agregado grueso de tamaño más grande, el máximo tamaño del agregado grueso para ser empleado en el hormigón tiene que depender de la forma y del tamaño como también de la distribución y la cantidad de acero de refuerzo (Flores, 2014).

El ensayo de granulometría para el agregado grueso se realiza en base a la norma NTE-INEN 696 (ASTM C136/C136M, 2019), (ASTM C33, 2018), (ASTM C125, 2021).

Tabla 20.

Granulometría del agregado grueso.

Peso inicial (g)		2000	Número de Tamaño		8
Tamiz	Tamaño	Peso	Porcentaje	Porcentaje Ret.	Porcentaje
No.	Abertura (mm)	Retenido (g)	Retenido (%)	Acumulado (%)	Que pasa (%)
1/2"	12.50	0.00	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.50	220.50	11.0	11.0	89.0
No. 4	4.75	1316.30	65.8	76.9	23.1
No.8	2.36	423.40	21.2	98.0	2.0
No.16	1.18	20.00	1.0	99.0	1.0
Bandeja	-	19.40	1.0	100.0	0.0
Total		1999.6	M. Finura	5.8	

Elaborado por: (Díaz & Terán)

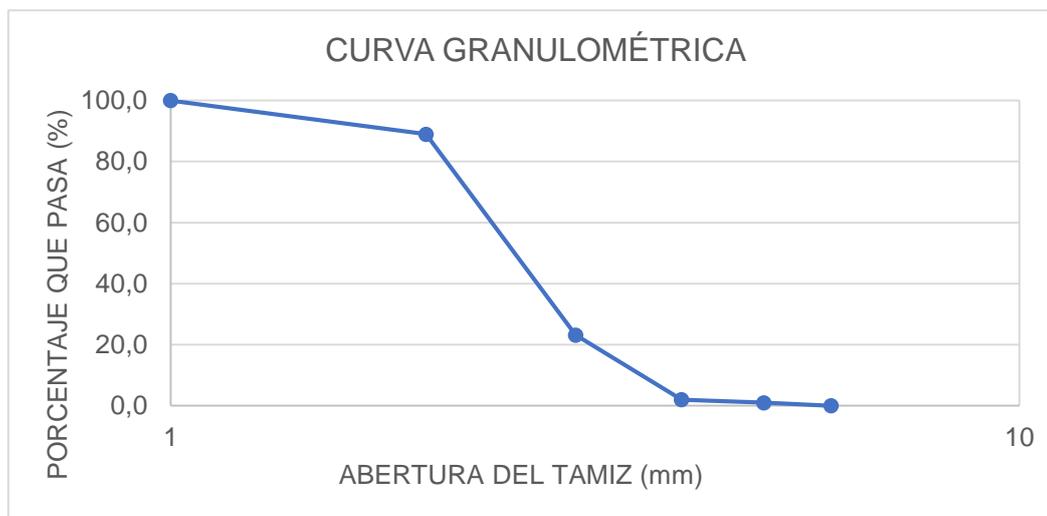


Figura 17. Curva granulométrica del agregado grueso
Elaborado por: (Díaz & Terán)

El tamaño nominal del material oscila entre 3/8" y N° 8. Por lo tanto, los valores límite inferior y superior corresponden al tamaño N° 8 según la norma NTE INEN 872.

3.2 EL CEMENTO

3.2.1 PROPIEDADES DEL CEMENTO HOLCIM GU (FÍSICAS Y MECÁNICAS)

Se eligió el cemento hidráulico HOLCIM FUERTE TIPO GU que cumple con la norma NTE INEN 2380:11 (ASTM C1157, 2010).

3.2.1.1 DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

Se define por la relación masa/volumen utilizado, determinándose la densidad por los métodos del picnómetro y de Le Châtelier, luego se compara estos dos métodos obteniendo los resultados esperados ya que existen pequeñas variaciones de cambios en las mezclas (Pauta, 2014).

La densidad del cemento se utiliza para calcular su peso y volumen en la mezcla de hormigón, la densidad debe estar entre 2,80 gr/cm³ y 3,15 gr/cm³, si la densidad del cemento está entre estos valores, se dice que está adicionado (ASTM C188, 2017).

Para determinar la densidad real se realiza ensayos basados en la norma NTE-INEN 156 (ASTM C-188).

Tabla 21.

Característica de la muestra.

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
Marca	Tipo de cemento	Fecha de fabricación
Holcim	GU	***

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 22.

Resultados de la densidad real del cemento.

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
Muestra	Volumen inicial (cm³)	Peso inicial (gr)	Volumen final (cm³)	Peso final (gr)	Temperatura (°C)	Densidad Real (gr/cm³)
M1	0.6	329.3	19.3	383	0	2.87
M2	0.2	329.2	19.3	384.1	0	2.87
				PROMEDIO		2.87

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.2.1.2 DENSIDAD APARENTE (SUELTA Y COMPACTA) DEL CEMENTO

La densidad aparente suelta y compacta se la determina con el mismo procedimiento que el de los ensayos de áridos, teniendo en cuenta la altura sobre la zona de la probeta, que no será inferior a 2 cm para la determinación de la densidad compacta (Luna, 2014).

Tabla 23.

Resultados de la densidad aparente del cemento.

DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO			
Identificación	Descripción	Densidad suelta (gr/cm³)	Densidad compacta (gr/cm³)
M1	Cemento 1	0.901	1.195

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.2.1.3 CONSISTENCIA NORMAL

Para la prueba respectiva, se requiere cierta cantidad de agua que se mezcla con el cemento para formar una pasta hasta llegar a una plasticidad y fluidez óptima. La consistencia normal se sitúa entre el 23% y el 33%, lo que determina el tiempo de fraguado, el volumen, la temperatura y la resistencia mecánica. Se utiliza el aparato de Vicat, ya que tiene la función de proporcionar y obtener la penetración alcanzada por la aguja en la muestra (Jácome, 2015),

Para determinar la consistencia normal se realizan ensayos basados en la norma NTE-INEN 157 (ASTM C187, 2016).

Tabla 24.*Condiciones del ensayo del cemento.*

CONDICIONES DEL ENSAYO	
Temperatura (°C)	Humedad (%)
17	53

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 25.*Resultados de consistencia normal del cemento.*

CONSISTENCIA NORMAL				
Muestra	Peso cemento (gr)	Peso del agua (gr)	Temperatura de agua de mezclado (°C)	Consistencia
Cemento 1	228	500	20	30

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Observaciones: La consistencia normal corresponde a una penetración de (10 ± 1) mm.

3.2.1.4 TIEMPO DE FRAGUADO

El proceso de hidratación del cemento tiene diferentes etapas, al momento que se hidratan progresivamente las partículas de cemento y también durante su endurecimiento. Se tiene que conocer el tiempo de fraguado inicial y el final; el fraguado inicial consiste en la hidratación completa de todas las partículas de cemento y al momento que empieza el endurecido, mientras que el fraguado final se da cuando el endurecimiento superficial se haya completado. Se toma en cuenta que el tiempo transcurrido hasta el desencofre del hormigón, tiene que ser mayor al tiempo de final de fraguado (Domenech & Espinoza, 2016).

Para el análisis del tiempo de fraguado se debe tomar en cuenta la norma NTE-INEN 158 (ASTM C191, 2021).

Tabla 26.*Resultados de tiempo de fraguado del cemento.*

TIEMPOS DE FRAGUADO		
Muestra	Tiempo inicial de fraguado Vicat (min)	Tiempo final de fraguado Vicat (min)
Cemento 1	228	500

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.3 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR”

3.3.1.1 GRANULOMETRÍA LÁSER

El ensayo láser de distribución granulométrica permite determinar la distribución granulométrica tanto en condiciones húmedas como secas. La distribución del tamaño de las partículas se mide por el cambio angular de la intensidad de la luz dispersada por un haz láser que atraviesa la muestra. Las partículas se difractan con respecto al haz láser en ángulos específicos en función del tamaño de las partículas (Jami & Narvaez, 2021).

Los resultados de la granulometría láser se analizaron con el ASE SCATTERING PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ANALYZER LA-950V2, de la marca HORIBA. En la siguiente tabla se describe los valores obtenidos.

Tabla 27.

Granulometría laser de humo de sílice.

Humo de sílice	
Parámetros	Diámetro de partícula (µm)
d10	8.2
d50	28.6
d60	35.9
d80	54.1
d90	70.6

Elaborado por: (Díaz & Terán)

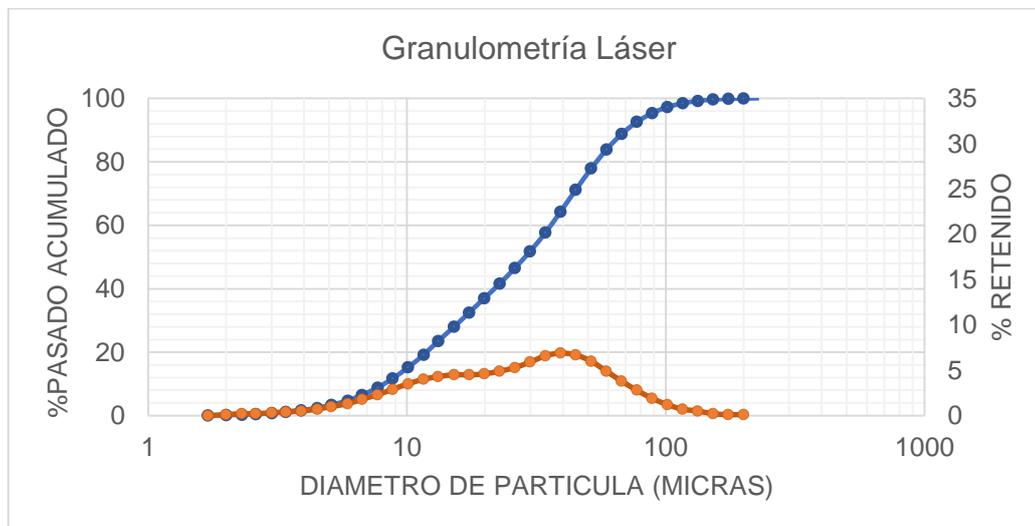


Figura 18. Granulometría láser de microsíllice “FUNDIRECICLAR”.
Elaborado por: (Díaz & Terán)

El análisis se realizó utilizando el índice de refracción para humo de sílice: 1.65.

Tabla 28.

Tabla de resultados de granulometría láser de microsílíce "FUNDIRECICLAR".

Muestra: Microsílíce "FUNDIRECICLAR"							
Numero	Diámetro de	Retenido	Pasado	Numero	Diámetro de	Retenido	Pasado
(#)	partícula	(%)	Acumulado	(#)	partícula	(%)	Acumulado
	(μm)		(%)		(μm)		(%)
1	1.7	0	0	20	22.8	4.6	41.6
2	2	0.1	0.1	21	26.1	4.9	46.5
3	2.3	0.2	0.3	22	29.9	5.3	51.8
4	2.6	0.2	0.5	23	34.3	5.9	57.7
5	3	0.3	0.8	24	39.2	6.6	64.3
6	3.4	0.4	1.2	25	44.9	6.9	71.2
7	3.9	0.5	1.7	26	51.5	6.7	77.9
8	4.5	0.7	2.4	27	59	6	83.9
9	5.1	1	3.4	28	67.5	4.9	88.8
10	5.9	1.3	4.7	29	77.3	3.8	92.6
11	6.7	1.8	6.5	30	88.6	2.8	95.4
12	7.7	2.3	8.8	31	101.5	1.9	97.3
13	8.8	2.9	11.7	32	116.2	1.2	98.5
14	10.1	3.5	15.2	33	133.1	0.7	99.2
15	11.6	4	19.2	34	152.5	0.5	99.7
16	13.2	4.3	23.5	35	174.6	0.2	99.9
17	15.2	4.5	28	36	200	0.1	100
18	17.4	4.5	32.5	37	229.1	0.1	100.1
19	19.9	4.5	37	38			

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.3.1.2 FLUORESCENCIA RX

La fluorescencia establece los elementos químicos de manera cuantitativa y cualitativa que se encuentra en variedades de tipos de muestra ya sean líquidos, sólidos, polvos sueltos y lodos. También determina la composición de capas, el espesor y los recubrimientos (Malvern, 2022).

La fluorescencia se la determina mediante dos maneras técnicas que son:

- La técnica analítica que determina la composición química de la muestra.
- La técnica sólida que combina la exactitud y alta precisión con la preparación de la muestra de manera fácil y rápida y se puede automatizar para uso en ambientes industriales de alto rendimiento.

El análisis químico de la muestra se determinó en un aparato de fluorescencia de RX S8 Tiger utilizando el software Spectra Pluss.

Tabla 29.

Resultados de fluorescencia de rayos X.

Elemento	Muestra 1
	Contenido (%)
Si	25.69
Fe	2.71
Na	2.20
S	2.10
Al	1.80
K	1.01
Ca	0.48
Mg	0.45
Zr	0.15
Ti	0.12
Cu	0.10
Ba	0.09
Zn	0.06
Mn	0.04
Pb	0.04
Ni	0.04
Cl	0.03
P	0.03
Cr	0.02

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Nota: La muestra fue analizada mediante pastilla preñada por lo cual los resultados son semicuantitativos.

Los resultados de calcinación se lo realizo en una mufla marca: SNOL., a la temperatura de 600 grados centígrados durante dos horas. El análisis se lo realiza en la calcina que se detalla a continuación:

Tabla 30.

Resultado de calcinación.

Muestra	Valor (%)
Muestra 1	58.4

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.3.1.3 DIFRACCIÓN RX

Consiste en hacer pasar una muestra seca o líquida no reactiva a través de un haz láser monocromático. La difracción RX mide el tamaño de las partículas de la muestra analizada, desde unos pocos nanómetros hasta unos pocos milímetros. Cuando el haz láser atraviesa la muestra, las partículas pequeñas dispersan la luz en ángulos grandes y viceversa (Malvern, 2022).

La muestra fue calcinada a 600 grados centígrados durante dos horas. El análisis se lo obtiene de la muestra calcinada y se la detalla a continuación:

Tabla 31.

Muestra de calcinación del humo de sílice.

Muestra	Valor (%)
Muestra 1	58.4

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La determinación de los componentes de cristalización definidos presentes en la muestra se llevó a cabo utilizando un difractómetro ADVANCE D8 y el software Diffrac plus (EVA y TOPAS) para la cualificación y la semicuantificación. Los resultados obtenidos de este análisis se describen detalladamente a continuación:

Tabla 32.*Resultados de difracción RX.*

Mineral	Formula	Muestra 1 Contenido (%)
Cuarzo	SiO ₂	90
Grupo plagioclasas	(Na,Ca)Al (Si,Al)Si ₂ O ₈	3
Ortoclasa	KAlSi ₃ O ₈	3
Cristobalita	SiO ₂	2
Hematita	Fe ₂ O ₃	2

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Nota: El límite de detección del equipo utilizado es del 1% para compuestos con una cristalización determinada. La muestra contiene material amorfo que no es cuantificable por este método analítico.

3.3.1.4 BASICIDAD

El índice de basicidad se lo determina a partir de la composición química, existe dos indicadores como son el índice de basicidad que siendo mayor a 1 es una escoria básica y el índice de hidraulicidad que teniendo un valor mayor a 1,4 es una escoria hidráulica. Estos valores permiten identificar si la escoria es la adecuada, para que en el sistema cementante alcalino se reactive (Guerra, 2020).

A continuación, se identifica el tipo de carácter de la escoria negra.

IB>1, es una escoria con carácter básico.

IB<1, es una escoria con carácter ácido.

IB=1, es una escoria con carácter neutro.

$$IB = \frac{Ca + Mg}{Si + Al}$$

Donde:

IB: Índice de basicidad

Ca: Porcentaje de calcio

Mg: Porcentaje de Magnesio

Si: Porcentaje de Silicio

Al: Porcentaje de aluminio

$$IB = \frac{Ca + Mg}{Si + Al}$$

$$IB = \frac{0.48 + 0.45}{25.69 + 1.80}$$

$$IB = 0.03395$$

El índice de basicidad de microsilíce Fundireciclar se obtuvo como resultado de 0.03395 siendo un valor menor a 1, obteniendo a la muestra como carácter ácido.

3.3.1.5 DENSIDAD REAL

Los valores reales de densidad del microsilíce "FUNDIRECICLAR" se obtienen como se describe en el apartado 3.2.1.1 de este proyecto.

Tabla 33.

Densidad real de microsilíce "FUNDIRECICLAR".

DENSIDAD REAL DE MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR"						
Muestra	Volumen inicial (cm ³)	Peso inicial (gr)	Volumen final (cm ³)	Peso final (gr)	Temperatura (°C)	Densidad Real (gr/cm ³)
1	0.6	329.8	19.4	373.7	0	2.34
2	0.7	330	19.1	373.3	0	2.35
3	0.7	330.4	19	373.2	0	2.34
PROMEDIO						2.34

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Los resultados de la densidad deben variar entre 1.88 gr/cm³ y 2.35 gr/cm³ lo cual arroja un valor de 2.34 gr/cm³.

3.3.1.6 DENSIDAD SUELTA Y COMPACTA

Los valores de densidad del microsilíce "FUNDIRECICLAR", se obtiene mediante a lo descrito en el apartado 3.2.1.2 del presente proyecto.

Tabla 34.

Resultado de densidad aparente de microsílíce.

DENSIDAD APARENTE DE MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR"					
Identificación	Descripción	Muestra suelta		Muestra compacta	
		Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m ³)	Contenido de vacíos (%)
0.31-I-03	Microsílíce	779	****	934	****

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.4 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL MICROSÍLICE "SF-100"

3.4.1.1 GRANULOMETRÍA LÁSER

Los valores de la granulometría láser del microsílíce "SF-100", se obtiene mediante a lo descrito en el apartado 3.3.1.1 del presente proyecto. Los resultados del análisis de granulometría láser se llevaron a cabo con el LASER SCATTERING PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ANALYZER LA-950V2, marca HORIBA. A continuación, se describen los resultados obtenidos del análisis.

Tabla 35.

Granulometría láser del microsílíce "SF-100".

Microsílíce "SF-100"	
Parámetros	Diámetro de partícula (µm)
d10	8.3
d50	47.4
d60	56.6
d80	77
d90	93.9

Elaborado por: (Díaz & Terán)

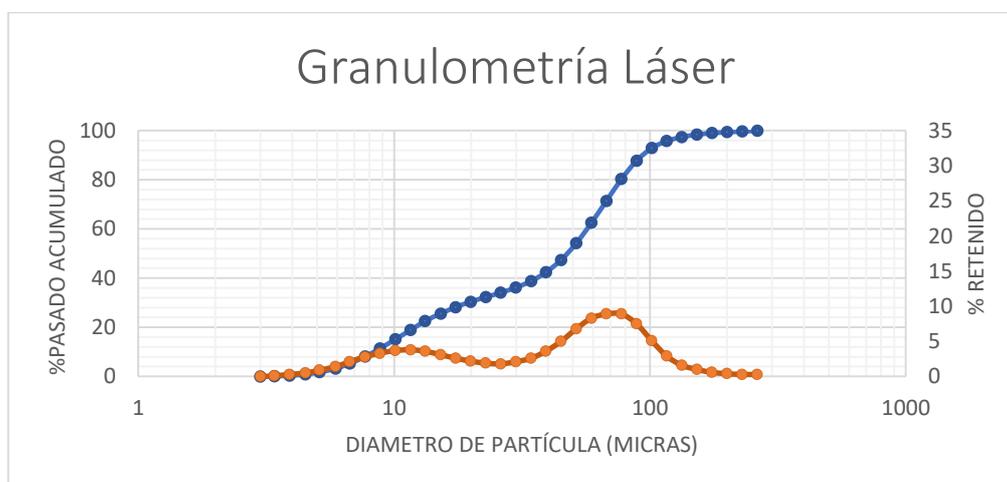


Figura 19. Granulometría láser de microsílíce "SF-100".
Elaborado por: (Díaz & Terán)

El análisis se realizó utilizando el índice de refracción para humo de sílice: 1.65.

Tabla 36.

Tabla de resultados de granulometría láser del microsílíce "SF-100"

Muestra: Microsílíce "SF-100"							
Numero	Diámetro de	Retenido	Pasado	Numero	Diámetro de	Retenido	Pasado
(#)	Partícula	(%)	Acumulado	(#)	Partícula	(%)	Acumulado
	(μm)		(%)		(μm)		(%)
1	3	0	0	18	29.9	2.1	36.2
2	3.4	0.1	0.1	19	34.3	2.6	38.8
3	3.9	0.3	0.4	20	39.2	3.6	42.4
4	4.5	0.5	0.9	21	44.9	5	47.4
5	5.1	0.9	1.8	22	51.5	6.8	54.2
6	5.9	1.4	3.2	23	59	8.3	62.5
7	6.7	2.1	5.3	24	67.5	8.9	71.4
8	7.7	2.8	8.1	25	77.3	8.9	80.3
9	8.8	3.3	11.4	26	88.6	7.5	87.8
10	10.1	3.7	15.1	27	101.5	5.1	92.9
11	11.6	3.8	18.9	28	116.2	2.9	95.8
12	13.2	3.6	22.5	29	133.1	1.6	97.4
13	15.2	3.1	25.6	30	152.5	1	98.4
14	17.4	2.6	28.2	31	174.6	0.6	99
15	19.9	2.2	30.4	32	200	0.4	99.4
16	22.8	1.9	32.3	33	229.1	0.3	99.7
17	26.1	1.8	34.1	34	262.4	0.3	100

Elaborado por: (Díaz & Terán)

3.4.1.2 FLUORESCENCIA RX

Los valores de la fluorescencia de rayos X del microsilíce “SF-100”, se obtiene mediante a lo descrito en el apartado 3.3.1.2 del presente proyecto.

Tabla 37.

Resultados de fluorescencia de rayos X del microsilíce “SF-100”.

Elemento	Muestra 1
	Contenido (%)
Si	47.25
K	0.37
S	0.22
Mg	0.20
Al	0.18
Ca	0.08
Na	0.07
Fe	0.06
P	0.01
Zn	0.01

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Nota: La muestra fue analizada mediante pastilla prensada, por lo cual los resultados son semicuantitativos.

3.4.1.3 DIFRACCIÓN RX

Al realizar el ensayo de la difracción RX del microsilíce “SF-100” se observa que, por sus características altamente amorfas, no es posible identificar ni cuantificar fases mineralógicas.

3.4.1.4 BASICIDAD

Los valores de la basicidad del microsilíce “SF-100”, se obtiene mediante a lo descrito en el apartado 3.3.1.4 del presente proyecto.

$$IB = \frac{Ca + Mg}{Si + Al}$$

$$IB = \frac{0.08 + 0.20}{47.25 + 0.18}$$

$$IB = 0.0059$$

El índice de basicidad de microsilíce SF-100 se obtuvo como resultado de 0.0059 siendo un valor menor a 1, obteniendo a la muestra como carácter ácido.

3.4.1.5 DENSIDAD REAL

Los valores de la densidad real del microsilíce "SF-100", se obtiene mediante a lo descrito en el apartado 3.2.1.1 del presente proyecto.

Tabla 38.

Característica de la muestra microsilíce "SF-100".

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
Marca	Tipo de material	Fecha de fabricación
***	Microsilíce SF-100	***

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 39.

Densidad real del microsilíce "SF-100".

DENSIDAD REAL DEL MICROSÍLICE "SF-100"						
Muestra	Volumen inicial (cm ³)	Peso inicial (gr)	Volumen final (cm ³)	Peso final (gr)	Temperatura (°C)	Densidad Real (gr/cm ³)
1	0.6	330.3	19.7	372.2	0	2.18
2	0.6	331.1	19.8	373.3	0	2.20
3	0.6	331.2	19.6	372.7	0	2.18
PROMEDIO						2.20

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Los resultados de la densidad deben tener valores entre 1.88 (gr/cm³) y 2.35 (gr/cm³), en este caso tenemos un valor de 2.2 (gr/cm³).

3.4.1.6 DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA

Los valores de densidad suelta y compacta del microsílíce "SF-100" se obtienen como se describe en el apartado 3.2.1.2 de este proyecto.

Tabla 40.

Resultado de densidad aparente de microsílíce.

DENSIDAD APARENTE DE MICROCÍLICE					
Identificación	Descripción	Muestra suelta		Muestra compacta	
		Densidad seca (gr/cm ³)	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (gr/cm ³)	Contenido de vacíos (%)
0.31-I-03	Microsílíce SF-100	0.726	****	0.811	****

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Observación: No se realizó el cálculo de contenido de vacíos en el microsílíce, ya que no se dispone del dato de gravedad específica.

CAPÍTULO 4

4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 DISEÑO DE MEZCLAS

En este capítulo se establece la metodología para el diseño y fabricación de un concreto de alta resistencia mediante el desarrollo de un proceso conceptual y su validación mediante ensayos y pruebas en laboratorio. En la preparación de la mezcla se han tenido en cuenta las recomendaciones del ACI 211.4R-08, donde se muestra el procedimiento a seguir para producir el hormigón requerido.

4.1.1 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA ESPECÍFICA DEL HORMIGÓN (F'C=55MPA)

La resistencia específica del concreto, denotada por f'_c , representa la resistencia a la compresión que escoge el planificador según el modelo y los requerimientos técnicos del proyecto. Es un valor usado como estimación para empezar con el diseño de mezclas por realizar en la práctica. Esta cifra deberá utilizarse como punto de partida con cierta reserva debido a los diversos componentes del hormigón. Por lo tanto, este valor de resistencia se emplea con un aumento en su valor. La resistencia específica elegida para este proyecto técnico experimental es $f'_c=55$ MPa.

4.1.2 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EL ACI 318.19

La norma ACI 318.19 acepta realizar la dosificación de las mixturas de concreto en función de los conocimientos adquiridos en campo o del conjunto de pruebas en laboratorio.

A fin de cumplir las condiciones de resistencia especificadas, el concreto tiene que propinarse de manera que la resistencia a la rotura media determinada por medio de ensayos de laboratorio supere o sea igual la resistencia específica f'_c . Incluso si f'_c supera los 35 MPa, el resultado de resistencia obtenido no debe ser inferior a f'_c en más de $0,10 f'_c$.

Si el fabricante del concreto decide utilizar cantidades para la mezcla de hormigón basándose en el conocimiento en campo, el valor de resistencia f'_{cr} debe ser el mayor calculado de la tabla 41.

Tabla 41.

Resistencia promedio requerida a la compresión cuando existen registros para obtener la desviación estándar.

Resistencia específica a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c \leq 35$	Use el mayor valor obtenido de las ecuaciones (33-1) y (33-2) $f'_{cr} = f'_c + 1.34 S_s$ (33-1) $f'_{cr} = f'_c + 2.33 S_s - 3.5$ (33-2)
$f'_c > 35$	Use el mayor valor obtenido de las ecuaciones (33-1) y (33-3) $f'_{cr} = f'_c + 1.34 S_s$ (33-1) $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33 S_s$ (33-3)

Fuente: (Instituto Americano del Concreto, 2019)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Dado que la resistencia especificada en este estudio es de $f'_c=55$ MPa, el Instituto Americano del Concreto propone utilizar las fórmulas que se muestra en la Tabla 42, cuando hay ausencia de registros para obtener la desviación estándar.

Tabla 42.

Resistencia promedio requerida a la compresión cuando existe ausencia de datos para obtener la desviación estándar.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.0$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1.10f'_c + 5.0$

Fuente: (Instituto Americano del Concreto, 2019)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

4.1.3 DISEÑO DE DOSIFICACIONES DE ACUERDO CON LA RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EL ACI 211.4R-08

Una vez se conocida la f'_{cr} , se procede a obtener la dosificación adecuada para alcanzar una resistencia por lo menos similar a la resistencia media específica. Se puede basar en registros de ensayos realizados en campo, o en mezclas de pruebas. Utilizaremos el Código ACI 211.4R-08 para llevar a cabo la investigación

y describiremos el procedimiento para establecer una dosificación apropiada para lograr un adecuado rendimiento del hormigón.

4.1.4 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA REQUERIDA

Se empleará el método del volumen absoluto, ya que este método es muy conveniente a la hora de dosificar este tipo de hormigones que trabajan añadiendo aditivos minerales y químicos, (para tener compatibilidad con los procedimientos de las normas ACI 211.4R-08 y ACI 363.2R-98).

Reside en establecer las cantidades de la mezcla de hormigón según tablas empíricas elaboradas en el laboratorio para obtener un hormigón con propiedades específicas. Este método permite aproximar la dosificación mediante el cálculo y a través de pruebas, obtener un hormigón de alta resistencia con los requerimientos establecidos. Los elementos del hormigón utilizados para este procedimiento tienen que ajustarse a las delimitaciones de la ASTM, esto significa que la guía no asegura la exactitud de la resistencia deseada si los componentes usados tienen diferentes características.

La resistencia de la mezcla como punto de partida es de ($f'c = 55$ MPa), a la que se debe dar un incremento para trabajar con $f'cr$. Para ello hay que emplear las ecuaciones de la norma ACI 211.4R-08 que figuran a continuación:

$$f'cr = f'c + 1.34 * S \quad \text{Ecuación 4-1 (3-1 en ACI 211.4R-08)}$$

$$f'cr = 0.90f'c + 2.33 * S \quad \text{Ecuación 4-2 (3-2 en ACI 211.4R-08)}$$

$$f'cr = 1.10f'c + 700 \text{ psi} \quad \text{Ecuación 4-3 (3-3 en ACI 211.4R-08)}$$

Dónde:

$f'c$ = resistencia específica a la compresión.

$f'cr$ = resistencia promedio requerida a la compresión.

S: desviación estándar.

Las ecuaciones 4-1 y 4-2 no se usarán en esta sección, ya que solo se usan cuando existen registros estadísticos previos de pruebas de resistencia a la compresión de mezclas con propiedades iguales. Se usa la fórmula 4-3 ya que se desconoce la desviación estándar.

- Cálculo de f'_{cr} .

$$1\text{MPa} = 145,038\text{ PSI}$$

$$f'_{cr} = 1.10 f'c + 700\text{ psi}$$

$$F'c = 55\text{ MPa} \rightarrow f'c = 7977.09\text{ psi}$$

$$f'_{cr} = 1.10 \times 7977.09 + 700\text{ psi}$$

$$f'_{cr} = 9474.79\text{ psi} \rightarrow 65.32\text{ MPa}$$

4.2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA DOSIFICACIONES DE MEZCLAS DE PRUEBA

El comité 211 del ACI propone seguir los siguientes pasos para poder diseñar mezclas de hormigón de alta resistencia.

- **PASO I:** Información de los materiales.

Previo a la creación de una mezcla de concreto de alta resistencia, es importante averiguar las características y propiedades de los componentes utilizados para su fabricación. Esto ayuda a garantizar la correcta dosificación de la mezcla. Las pruebas que deben realizarse a los elementos son las siguientes:

Tabla 43.

Propiedades de los materiales.

MATERIAL	DENSIDAD REAL (gr/cm ³)	ABSORCIÓN (%)	DENSIDAD APARENTE COMP. (gr/cm ³)	MÓDULO DE FINURA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
ARENA	✓	✓	✓	✓	✓
RIPIO	✓	✓	✓	✓	✓
CEMENTO	✓	-	-	-	-
AGUA	✓	-	-	-	-

Elaborado por: (Díaz & Terán)

- **PASO II:** Selección del asentamiento

El asentamiento sugerido se indica en la tabla 44. Si no se dispone de una medida del asentamiento inicial, se recomienda utilizar 25-50 milímetros antes de añadir el aditivo químico (HRWR). Escoger este valor garantiza que se utilice la porción correcta de agua en la mixtura y que el aditivo funcione eficazmente. Si el hormigón se va a fabricar sin superplastificante, se recomienda elegir un valor de asentamiento de 50-100 milímetros, ya que el contenido de árido grueso y otros materiales cementosos incluidos en la mixtura hacen que la tarea de compactar sea difícil.

Tabla 44.

Asentamiento sugerido para hormigones elaborados con la incorporación y exclusión de aditivo HRWR.

Hormigón elaborado con HRWR*	
Asentamiento antes de añadir HRWR	25 a 50 mm
Hormigón elaborado sin HRWR	
Asentamiento antes de añadir HRWR	50 a 100 mm
*Adecuar el asentamiento deseado el por medio de la inclusión de HRWR	

Fuente: (ACI 211.4R-08, 2008)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

- **PASO III:** Elección del tamaño máximo de árido grueso.

La tabla 45 muestra el tamaño máximo sugerido de árido grueso de acuerdo a la resistencia f'_{cr} .

Tabla 45.

Tamaño sugerido de árido grueso en función de f'_{cr} .

Resistencia requerida del concreto f'_{cr} (MPa)	Tamaño máximo sugerido de árido grueso (mm)
< 62,1	19 a 25
> 62,1	9,5 a 12,5*
*Si se utiliza aditivo superplastificante, áridos gruesos, y la resistencia a la compresión del hormigón está entre 62,1 y 82,7 MPa, pueden utilizarse áridos gruesos mayores de tamaño que los valores recomendados, pero no superiores a 25 mm.	

Fuente:(ACI 211.4R-08, 2008)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

- **PASO IV:** Elección del volumen apropiado de árido grueso.

El contenido adecuado de árido grueso está en función del tamaño máximo nominal y de su resistencia. El volumen de árido grueso está manifestado como una fracción de la densidad aparente, cuyos valores se indican en la tabla 46. Estos valores son sugeridos cuando se emplean áridos finos que acogen valores de módulo de finura de 2.5 a 3.2.

Tabla 46.

Volumen sugerido de árido grueso por volumen unitario de hormigón

Tamaño máximo nominal	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.
	3/8	9,5	1/2	12,5	3/4	19	1	25
Volumen de árido grueso secado al horno como fracción del peso unitario compactado.	0,65		0,68		0,72		0,75	

Fuente: (ACI 211.4R-08, 2008)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Ecuación 4-4(4.1 en ACI 211.4R-08)

*“Peso del agregado grueso = (Vol. óptimo del agregado grueso * D.A.C)”*

D.A.C = Densidad aparente compactada

- **PASO V:** Primera estimación de agua de amasado y de porcentaje de aire.

La tabla 47 proporciona la primera aproximación de la cantidad de agua de amasado necesaria por metro cúbico de concreto, fabricado con áridos gruesos de diferente tamaño previo a la adición de aditivo superplastificante. Adicionalmente, se proporcionan porcentajes de contenido vacíos.

Tabla 47.

Primera estimación de demanda de agua de amasado y porcentaje de vacíos del concreto fresco en base al empleo de finos con 35% de vacíos

Asentamiento, mm	Agua de amasado Kg/m ³ *			
	Tamaño máximo de árido grueso, mm			
	9,5	12,5	19	25
25 a 50	183,9	175	169,1	166,1
50 a 75	189,8	183,9	175	172,1
75 a 100	195,8	189,8	180,9	178
Contenido de aire atrapado [^]	3	2,5	2	1,5

*Los valores indicados deben ser ajustados para arenas con vacíos diferentes al 35% utilizando la ecuación 6-3 de ACI 211.4R-08.
[^]Mezclas elaboradas con aditivo superplastificante.

Fuente: (ACI 211.4R-08, 2008)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

En caso de tener arena con porcentaje de vacíos diferentes al 35%, se debe realizar los respectivos ajustes de agua de mezclado con las siguientes ecuaciones que proporciona el comité ACI 211.

Ecuación 6.2 en ACI 211.4R-08

$$\text{“Contenido de vacíos, } V, \% = \left(1 - \frac{\text{Peso unitario compactado agregado fino}}{\text{Peso específico agregado fino}}\right) * 100\text{”}$$

Ecuación 6.3 en ACI 211.4R-08

$$\text{“Ajuste del agua de mezclado (lb/yd}^3\text{)} = (\text{Contenido de vacíos} - 35) * 8\text{”}$$

$$\text{“Agua de mezclado final} = \text{Agua de mezclado inicial} + \text{Ajuste del agua de mezclado”}$$

- **PASO VI:** Elección de la relación agua/material cementoso (a/cm).

Además del cemento, a menudo, especialmente en mixturas de hormigón de alta resistencia se usan algunos materiales cementosos; en este caso la microsílíce. Estos agregados se deben tener en consideración al momento de calcular la relación agua / material cementoso. Las tablas 48 y 49 permiten elegir la relación a/c en función de la resistencia esperada después de los 28 y 56 días, y de acuerdo con el tamaño máximo del árido grueso.

Tabla 48.

Relación agua/material cementicio máxima recomendada para hormigones hechos sin aditivo superplastificante.

Resistencia promedio f'_{cr} , MPa		a/(cm)			
		Tamaño máximo del árido grueso, mm			
		9,5	12,5	19	25
48,3	28 días	0,42	0,41	0,4	0,39
	56 días	0,46	0,45	0,44	0,43
55,2	28 días	0,35	0,34	0,33	0,33
	56 días	0,38	0,37	0,36	0,35
62,1	28 días	0,3	0,29	0,29	0,28
	56 días	0,33	0,32	0,31	0,3
68,9	28 días	0,26	0,26	0,25	0,25
	56 días	0,29	0,28	0,27	0,26

* $f'_{cr}=1.10f'_c+700$ psi

Fuente: (ACI 211.4R-08, 2008)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 49.

Relación agua/material cementicio máxima recomendada para hormigones hechos con aditivo superplastificante.

Resistencia promedio f'_{cr} , MPa		a/(cm)			
		Tamaño máximo del árido grueso, mm			
		9,5	12,5	19	25
48,3	28 días	0,50	0,48	0,48	0,43
	56 días	0,55	0,52	0,48	0,46
55,2	28 días	0,44	0,42	0,40	0,38
	56 días	0,48	0,45	0,42	0,40
62,1	28 días	0,38	0,36	0,35	0,34
	56 días	0,42	0,39	0,37	0,36
68,9	28 días	0,33	0,32	0,31	0,30
	56 días	0,37	0,35	0,33	0,32
75,8	28 días	0,30	0,29	0,27	0,27
	56 días	0,33	0,31	0,29	0,29
82,7	28 días	0,27	0,26	0,25	0,25
	56 días	0,30	0,28	0,27	0,26

* $f'_{cr}=1.10f'_c+700$ psi

Fuente: (ACI 211.4R-08, 2008)

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La tabla 48 permite elegir la relación agua - material cementoso sin la adición de superplastificante, esta tabla se utilizará en el presente proyecto, dado que la segunda tabla tiene valores obtenidos con materiales extranjeros.

- **PASO VII:** Determinación del contenido de material cementoso.

El peso del material cementoso necesario se calcula mediante la relación del agua de amasado por la relación a/c obtenido del paso VI.

$$\text{“Contenido de material cementicio”} = \frac{\text{Agua de mezclado}}{\frac{\text{relación agua}}{\text{material cementicio}}}$$

- **PASO VIII:** Volúmenes de mezcla utilizando solamente cemento como material cementoso.

El volumen de cada material se determinará por medio de la relación peso y la densidad, excepto la arena, que se determinará por el método del volumen absoluto.

$$\text{Volumen del cemento} = \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Densidad del cemento}}$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = \frac{\text{Peso del agregado grueso}}{\text{Densidad del agregado grueso}}$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Densidad del agua}}$$

$$\text{Volumen de aire} = \text{obtenido de la tabla}$$

$$\text{Volumen de agregado fino}$$

$$= 1 - (\text{Vol. de cemento} + \text{Vol. de ag. grueso} + \text{Vol. de agua} + \text{Vol. de aire})$$

Cálculo del peso del agregado fino.

$$\text{Peso del agregado fino}$$

$$= \text{Volumen del agregado fino} \times \text{Densidad del agregado fino.}$$

4.3 MEZCLAS DE PRUEBA

Se prepararon mezclas de prueba aplicando el procedimiento del apartado 4.2 para cada dosificación, de esta manera se pudo comprobar las características de trabajabilidad y las propiedades de resistencia de la mezcla. Los pesos del árido grueso, arena y agua se ajustaron por contenido de humedad y por porcentaje de absorción. Cada lote ha sido mezclado cuidadosamente para adquirir una mezcla homogénea y uniforme.

En varios casos no se pudieron obtener las características y propiedades deseadas en las mezclas de hormigón. Mediante pruebas de laboratorio, se pudo evidenciar que se pueden realizar algunos ajustes para alcanzar la trabajabilidad y resistencia deseada, los cuales se describen a continuación:

- Asentamiento

Cuando no se logró tener el asentamiento deseado o adecuado se debe ajustar el agua de amasado. Cuando se altera la proporción de agua, también se altera la relación a/c, entonces el material cementoso también debe ajustarse para mantener la relación agua / material cementoso inicial.

- Contenido de árido grueso

Después de que el asentamiento ha sido arreglado correctamente, se debe observar si la mezcla presenta demasiada dureza a la hora de compactar y moldear. Si existe demasiado contenido de agregado grueso, se lo puede reducir en un pequeño porcentaje, pero esta reducción debe ajustarse al contenido de agregado fino para garantizar un eficaz rendimiento de la mezcla. Sin embargo, esto demandó más contenido de agua y por lo tanto más contenido de material cementoso.

- Porcentaje de aditivo superplastificante o reductor de agua de alto rango (HRWR)

Cuando se emplea aditivo superplastificante, se tiene que usar diferentes porcentajes de aditivo químico que los recomendados por el fabricante, para

verificar las propiedades y efectos sobre la trabajabilidad y resistencia de la mixtura de hormigón. El ACI 211.4R-08 menciona que tasas mayores de HRWR que las que menciona el fabricante son permitidas, siempre y cuando no se produzca segregación.

- Cambio de relación agua – material cementoso.

Cuando no se alcanza la resistencia a la compresión por medio de la relación a/c recomendada de las tablas 48 y 49, se deben probar con otros valores de relación a/c. Si no se obtienen mejores resultados de $f'c$, se debe examinar si los otros componentes son adecuados para producir hormigones de alta resistencia.

4.3.1 PROCEDIMIENTO PARA ELABORAR LA DOSIFICACIÓN MÁS EFICIENTE

Luego de varias mezclas de prueba, modificaciones y después de aplicar las recomendaciones previamente mencionadas, se pudo obtener una mezcla consistente, uniforme, trabajable y con las características mecánicas de compresión deseadas. A continuación, se indica el procedimiento y las proporciones para elaborar esta mixtura de concreto de alta resistencia.

- **PASO I:** Información de los materiales.

En la tabla 50 se muestran resultados obtenidos del capítulo 3 en la caracterización de los agregados.

Tabla 50.

Propiedades de los materiales.

MATERIAL	DENSIDAD REAL (gr/cm ³)	ABSORCIÓN (%)	DENSIDAD APARENTE COMP. (gr/cm ³)	MÓDULO DE FINURA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
ARENA	2,54	2,95	1,803	3,1	0,24
RIPIO	2,60	1,88	1,481	5,8	2,72
CEMENTO	2,87	-	1,195	-	-
AGUA	1	-	-	-	-

Elaborado por: (Díaz & Terán)

- **PASO II:** Selección del asentamiento

El empleo de un plastificante asegura la obtención de una adecuada trabajabilidad en el hormigón, por eso el asentamiento escogido es de 50 milímetros de acuerdo con la tabla 44, para evitar segregación cuando se agregue el aditivo químico (HRWR).

- **PASO III:** Elección del tamaño máximo del árido grueso.

Proporcionada la resistencia $f'_{cr}=65,32\text{MPa}$, el tamaño máximo de árido grueso seleccionado para las mezclas tiene un tamaño de 9,5 a 12,5 milímetros de acuerdo con la tabla 45.

- **PASO IV:** Elección del volumen apropiado de árido grueso.

De la tabla 46 seleccionamos el valor de 0,68, porque se está trabajando con un tamaño máximo de árido grueso igual a 12,5 milímetros.

*“Peso del agregado grueso = (Vol. óptimo del agregado grueso * D.A.C)”*

$$D.A.C = \text{Densidad aparente compactada} = 1.481 \frac{g}{cm^3} = 1481 \frac{kg}{m^3}$$

$$\text{Peso del agregado grueso} = (0.68 * 1481 \frac{kg}{m^3})$$

$$\text{Peso del agregado grueso} = 1007.08 \frac{kg}{m^3}$$

En las mezclas de prueba se evidenció que la mixtura contenía un excedente de áridos gruesos, el cual tenía cierto efecto negativo en la cohesión, así que se tomó la decisión de disminuir la proporción de agregado grueso en un 7,5 % y de esa manera aumentar la diferencia en el porcentaje de agregado fino.

$$\text{Peso del agregado grueso} = (1007.08 - (1007.08 * 0.075)) = 931.55 \frac{kg}{m^3}$$

- **PASO V:** Primera estimación de agua de amasado y de porcentaje de aire.

Con los valores previamente seleccionados; dimensión de agregado grueso de 9,5 a 12,5 milímetros, asentamiento de 50 milímetros y el complemento de aditivo químico (HRWR), podemos elegir la estimación inicial de 183,9 kg/m³ de agua de amasado con 2,5% de volumen de aire encerrado. Sin embargo, se decidió aumentar el asentamiento debido a que no existía ninguna reacción de los componentes de la mezcla debido a la falta de hidratación, por ello se decidió seleccionar de la tabla 47 el valor de 195,8 kg/m³.

- **PASO VI:** Elección de la relación agua/material cementoso a/c.

$$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 700 \text{ psi}$$

$$f'_{cr} = 9474.79 \text{ psi} \rightarrow 65.32 \text{ MPa}$$

Sabiendo que la dimensión máxima del árido grueso es de 12,5 milímetros, la resistencia requerida $f'_{cr}=65,32\text{MPa}$ y la edad de rotura de los cilindros será a los 28 días, recurriendo a la interpolación seleccionamos una relación a/c de 0,26.

- **PASO VII:** Determinación del contenido de material cementoso.

$$\text{“Contenido de material cementicio”} = \frac{\text{Agua de mezclado}}{\frac{\text{relación agua}}{\text{material cementicio}}}$$

$$\text{Contenido de material cementicio} = \frac{195.8}{0.26} = 753.077 \text{ Kg para } 1\text{m}^3 \text{ de hormigón.}$$

- **PASO VIII:** Volúmenes de mezcla utilizando solamente cemento como material cementoso.

$$\text{Volumen del cemento} = \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Densidad del cemento}}$$

$$\text{Volumen del cemento} = \frac{753.077 \text{ Kg}}{2.87 \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.262 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = \frac{\text{Peso del agregado grueso}}{\text{Densidad del agregado grueso}}$$

$$\text{Volumen de agregado grueso} = \frac{931.55 \text{ Kg}}{2.60 \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.358 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Densidad del agua}}$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{195.8 \text{ Kg}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.1958 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de aire} = 0.025 \text{ m}^3$$

Determinación de volumen de árido fino.

$$\text{Suma} = 0,8408 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de agregado fino} = 1 - 0.8408 = 0.15852 \text{ m}^3$$

Cálculo de peso del agregado fino

= Volumen del agregado fino x Densidad del agregado fino.

$$\begin{aligned} \text{Peso del agregado fino} &= (0,15852 \text{ m}^3) \times \left(2,54 \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \\ &= 420.630 \text{ kg por m}^3 \text{ de hormigón} \end{aligned}$$

Tabla 51.

Dosificación para 1 m³ de hormigón.

Material	Peso (Kg)	Dosificación
Cemento	753,077	1,00
Agregado grueso	931,55	1,24
Agregado fino	402,630	0.53
Agua	195,8	0,26

Elaborado por: (Díaz & Terán)

4.3.2 MUESTRAS CILÍNDRICAS DE 10 X 20 CM

Normalmente, la altura de una muestra común para evaluar la resistencia a la compresión del concreto es equivalente al doble del diámetro porque el hormigón tiende a fallar bajo tensión axial. Para este estudio, se fabricarán muestras

cilíndricas en contenedores de acero de 10x20 centímetros, tanto para la mezcla estándar como para las mezclas alternativas desarrolladas con microsílíce. El tamaño de la sección transversal del cilindro debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del árido grueso según la norma INEN 1576, siendo el árido grueso de dimensión de 1,25 cm, por lo que cumple este requisito sin dificultad. La norma también especifica que los moldes cilíndricos deben ser de acero o de otros materiales no absorbentes e impermeables que no reaccionen con el cemento Portland y sean resistentes.

Tabla 52.

Resistencia a la compresión de la dosificación más eficaz ensayado a los 7 días.

Muestra	Diámetro (m)	Altura(m)	Carga (KN)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)
1	10,06	20,03	340,02	42,7	41,98
2	10,15	20,03	337,5	41,7	
3	10,15	20,02	335,8	41,5	

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Los resultados de ensayos de compresión a los 7 días de la dosificación más eficaz, que se muestra en la tabla 52, tuvo una media de 41,98MPa, lo que evidencia el cumplimiento de la condición de resistencia a los 7 días, con más del 65% de la resistencia de diseño ($55 \text{ MPa} * 0,65 = 35,75 \text{ MPa}$), por lo que se procede a realizar la mezcla total patrón y sus alternativas con microsílíce.

4.4 ELABORACIÓN DE 9 PROBETAS POR ALTERNATIVA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE MICROSÍLICE EN REEMPLAZO DEL CEMENTO AL 10%, 12.5% Y 15%

Con el fin de determinar y conocer las proporciones óptimas de los componentes del concreto de alta resistencia, se realizaron 6 alternativas de dosificación, en las cuales se cambió el tipo y la proporción de microsílíce. Los componentes elegidos se utilizaron en circunstancias ideales, acompañado de cemento Holcim Tipo GU, con aditivos minerales de la fundidora “FUNDIRECICLAR”, microsílíce “SF-100” y “Sikament N-100” como aditivo plastificante. Los porcentajes de aditivo mineral como reemplazo del cemento que se utilizó para las mezclas con microsílíce de “FUNDIRECICLAR” y “SF-100” son los mismos, ya que de esta manera se podrá

realizar la comparación sobre la eficacia en la que estas adiciones reaccionan con el hormigón. Los porcentajes de reemplazo del cemento se indican en la tabla 53.

Cantidad de cemento = 753,077 Kg/m³

Tabla 53.

Proporciones de cemento y microsílíce para las diferentes alternativas.

Mezcla	Microsílíce (%)	Cemento	Microsílíce (Kg)
1	0	753.077	0
2*	10	677,77	75,31
3*	12,5	658.94	94,13
4*	15	640,12	112,96
5^	10	677,77	75,31
6^	12	658.94	94,13
7^	15	640,12	112,96
* Mezcla elaborada con microsílíce "FUNDIRECICLAR"			
^ Mezcla elaborada con microsílíce "SF-100"			

Elaborado por: (Díaz & Terán)

4.4.1 MEZCLA 1: PATRÓN

Proporciones de la mezcla de laboratorio

Tomando en cuenta el 20% de desperdicios, se requiere un volumen de 0,017 m³ para elaborar 9 muestras de concreto.

Diámetro:0,100m

Altura:0,200m

Volumen de cilindro:0,0016 m³

Nº Cilindros:9 u.

Desperdicio:20%

Volumen total:0,0170 m³

Se debe multiplicar este valor por la dosificación para obtener los valores en unidades de peso.

Proporciones de la mezcla con datos obtenidos de la tabla 51.

$$\text{Cemento} = 753.08 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 13.013 \text{ kg}$$

$$\text{Ag. Fino} = 402.63 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 6.957 \text{ kg}$$

$$\text{Ag. Grueso} = 931.55 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 16.097 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 195.8 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 3.383 \text{ kg}$$

Corrección debido al contenido de agua de los áridos:

$$\text{Capacidad de Absorción (\%): Agregado grueso: } 1.88 \%$$

$$\text{Agregado fino: } 2.95 \%$$

$$\text{Contenido de Humedad (\%): Agregado grueso: } 2.72 \%$$

$$\text{Agregado fino: } 0.24 \%$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (\text{Peso de agregado grueso}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (16.097 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = 16.232 \text{ kg}$$

Ajuste agregado fino

$$= (\text{Peso de agregado fino}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = (6.957 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = 6.769 \text{ kg}$$

Ajuste peso del agua

$$= \text{Peso de agua} - \text{peso de agr. grueso} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$- \text{peso de agr. fino} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.383\text{kg} - 16.097\text{kg} \times \left[\frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right] - 6.769\text{kg} \times \left[\frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 2.437 \text{ kg}$$

Tabla 54.

Dosificación sin microsílíce para 9 probetas de hormigón.

Material	Peso (kg)
Cemento	13,013
Agr. Grueso	16,232
Agr. Fino	6,769
Agua	3,437

Elaborado por: (Díaz & Terán)

4.4.2 MEZCLA 2: PRIMERA ALTERNATIVA CON 10% DE MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR”

El volumen de cada material por metro cúbico, excepto del fino, se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 677.77 / (2.87 * 1000) = 0.236 \text{ m}^3 \\ \text{Microsílíce} &= 75.31 / (2.34 * 1000) = 0.0322 \text{ m}^3 \\ \text{Ag. Grueso} &= 931.55 / (2.60 * 1000) = 0.358 \text{ m}^3 \\ \text{Agua} &= 195.8 / 1000 = 0.1958 \text{ m}^3 \\ \text{Aire} &= 0.025 = 0.025 \text{ m}^3 \\ \text{Subtotal} &= 0.847 \text{ m}^3 \\ \text{Ag. Fino} &= 1 - 0.847 = 0.15257 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

La porción de árido fino por metro cúbico es:

$$\text{Ag. Fino} = 0.15257 \times 2.54 \times 1000 = 387.534 \text{ kg}$$

Cantidades de cada elemento en peso por metro cúbico:

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 677.77 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Microsílíce} &= 75.31 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Ag. Fino} &= 387.534 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Ag. Grueso} = 931.55 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 195.8 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Total} = 2267.964 \text{ kg/m}^3$$

Proporciones de la mezcla para 9 probetas:

$$\text{Cemento} = 677.77 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 11.712 \text{ kg}$$

$$\text{Microsilice} = 75.31 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 1.301 \text{ kg}$$

$$\text{Ag. Fino} = 387.534 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 6.697 \text{ kg}$$

$$\text{Ag. Grueso} = 931.55 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 16.097 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 195.8 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 3.383 \text{ kg}$$

Corrección debido al contenido de agua de los áridos:

$$\text{Capacidad de Absorción (\%): Agregado grueso: 1.88 \%}$$

$$\text{Agregado fino: 2.95 \%}$$

$$\text{Contenido de Humedad (\%): Agregado grueso: 2.72 \%}$$

$$\text{Agregado fino: 0.24 \%}$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (\text{Peso de agregado grueso}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (16.097 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = 16.232 \text{ kg}$$

Ajuste agregado fino

$$= (\text{Peso de agregado fino}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = (6.697 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = 6.515 \text{ kg}$$

Ajuste peso del agua

$$= \text{Peso de agua} - \text{peso de agr. grueso} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right] \\ - \text{peso de agr. fino} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.383 \text{ kg} - 16.097 \text{ kg} \times \left[\frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right] - 6.697 \text{ kg} \times \left[\frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.430 \text{ kg}$$

Tabla 55.

Resumen de pesos para la 1ra dosificación con 10% microsílíce Fundireciclar.

Material	Peso (kg)
Cemento	11,712
Microsílíce	1,301
Agr. Grueso	16,232
Agr. Fino	6,515
Agua	3,430

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La cantidad de aditivo químico Sikament N100 se ha añadido dependiendo de la trabajabilidad que presenta la mezcla y por lo tanto del asentamiento deseado.

Aditivo SIKAMENT N100:1,4% del peso del material cementicio

Peso del aditivo=182,2 gr.

4.4.3 MEZCLA 3: SEGUNDA ALTERNATIVA CON 12,5% DE MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR”

El volumen de cada material por metro cúbico, excepto del fino, se muestra a continuación:

$$\text{Cemento} = \frac{658.94}{(2.87 * 1000)} = 0.230 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Microsílice} &= 94.13 / (2.34 * 1000) = 0.0402 \text{ m}^3 \\
 \text{Ag. Grueso} &= 931.55 / (2.60 * 1000) = 0.358 \text{ m}^3 \\
 \text{Agua} &= 195.8 / 1000 = 0.1958 \text{ m}^3 \\
 \text{Aire} &= 0.025 = 0.025 \text{ m}^3 \\
 \text{Subtotal} &= 0.849 \text{ m}^3 \\
 \text{Ag. Fino} &= 1 - 0.849 = 0.15109 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

La porción de árido fino por metro cúbico es:

$$\text{Ag. Fino} = 0.15109 \times 2.54 \times 1000 = 383.761 \text{ kg}$$

Cantidades de cada elemento en peso por metro cúbico:

$$\begin{aligned}
 \text{Cemento} &= 658.94 \text{ kg/ m}^3 \\
 \text{Microsílice} &= 94.13 \text{ kg/ m}^3 \\
 \text{Ag. Fino} &= 383.761 \text{ kg/ m}^3 \\
 \text{Ag. Grueso} &= 931.55 \text{ kg/ m}^3 \\
 \text{Agua} &= 195.8 \text{ kg/ m}^3 \\
 \text{Total} &= 2264.181 \text{ kg/ m}^3
 \end{aligned}$$

Proporciones de la mezcla para 9 probetas:

$$\begin{aligned}
 \text{Cemento} &= 658.94 \text{ kg/ m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 11.387 \text{ kg} \\
 \text{Microsílice} &= 94.13 \text{ kg/ m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 1.627 \text{ kg} \\
 \text{Ag. Fino} &= 383.761 \text{ kg/ m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 6.631 \text{ kg} \\
 \text{Ag. Grueso} &= 931.55 \text{ kg/ m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 16.097 \text{ kg} \\
 \text{Agua} &= 195.8 \text{ kg/ m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 3.383 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Corrección debido al contenido de agua de los áridos:

Tabla 56.

Resumen de pesos para la 2da dosificación con 12,5% microsílíce Fundirecicar.

Material	Peso (kg)
Cemento	11,387
Microsílíce	1,627
Agr. Grueso	16,232
Agr. Fino	6,452
Agua	3,428

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La cantidad de aditivo químico Sikament N100 se ha añadido dependiendo de la trabajabilidad que presenta la mezcla y por lo tanto del asentamiento deseado.

Aditivo SIKAMENT N100:1,2% del peso del material cementicio

Peso del aditivo=156,2 gr.

4.4.4 MEZCLA 4: TERCERA ALTERNATIVA CON 15% DE MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR”

El volumen de cada material por metro cúbico, excepto del fino, se muestra a continuación:

<i>Cemento</i> =	$640.12 / (2.87 * 1000) =$	0.223 m^3
<i>Microsílíce</i> =	$112.96 / (2.34 * 1000) =$	0.0483 m^3
<i>Ag. Grueso</i> =	$931.55 / (2.60 * 1000) =$	0.358 m^3
<i>Agua</i> =	$195.8 / 1000 =$	0.1958 m^3
<i>Aire</i> =	$0.025 =$	0.025 m^3
<i>Subtotal</i>	$=$	0.850 m^3
<i>Ag. Fino</i> =	$1 - 0.850 =$	0.1496 m^3

La porción de árido fino por metro cúbico es:

$$\text{Ag. Fino} = 0.1496 \times 2.54 \times 1000 = 379.987 \text{ kg}$$

Cantidades de cada elemento en peso por metro cúbico:

$$\text{Cemento} = 640.12 \text{ kg} / \text{m}^3$$

<i>Microsílice</i>	=	112.96 kg/ m ³
<i>Ag. Fino</i>	=	379.987 kg/ m ³
<i>Ag. Grueso</i>	=	931.55 kg/ m ³
<i>Agua</i>	=	195.8 kg/ m ³
<i>Total</i>	=	2260.417kg/ m ³

Proporciones de la mezcla para 9 probetas:

<i>Cemento</i>	=	640.12 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	11.061 kg
<i>Microsílice</i>	=	112.96 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	1.952 kg
<i>Ag. Fino</i>	=	379.987 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	6.566 kg
<i>Ag. Grueso</i>	=	931.55 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	16.097 kg
<i>Agua</i>	=	195.8 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	3.383 kg

Corrección debido al contenido de agua de los áridos:

<i>Capacidad de Absorción (%)</i>	<i>Agregado grueso:</i>	1.88 %
	<i>Agregado fino:</i>	2.95 %
<i>Contenido de Humedad (%)</i>	<i>Agregado grueso:</i>	2.72 %
	<i>Agregado fino:</i>	0.24 %

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (\text{Peso de agregado grueso}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (16.097 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = 16.232 \text{ kg}$$

Ajuste agregado fino

$$= (\text{Peso de agregado fino}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = (6.566 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = 6.388 \text{ kg}$$

Ajuste peso del agua

$$= \text{Peso de agua} - \text{peso de agr. grueso} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right] \\ - \text{peso de agr. fino} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.383 \text{ kg} - 16.097 \text{ kg} \times \left[\frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right] - 6.566 \text{ kg} \times \left[\frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.426 \text{ kg}$$

Tabla 57.

Resumen de pesos para la 3ra dosificación con 15% microsílíce Fundireciclar.

Material	Peso (kg)
Cemento	11,061
Microsílíce	1,952
Agr. Grueso	16,232
Agr. Fino	6,388
Agua	3,426

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La cantidad de aditivo químico Sikament N100 se ha añadido dependiendo de la trabajabilidad que presenta la mezcla y por lo tanto del asentamiento deseado.

Aditivo SIKAMENT N100:1,5% del peso del material cementicio

Peso del aditivo=195,2 gr.

4.4.5 MEZCLA 5: CUARTA ALTERNATIVA CON 10% DE MICROSÍLICE “SF-100”

El volumen de cada material por metro cúbico, excepto del fino, se muestra a continuación:

<i>Cemento</i> =	$677.77 / (2.87 * 1000) =$	0.236 m^3
<i>Microsílice</i> =	$75.31 / (2.2 * 1000) =$	0.0342 m^3
<i>Ag. Grueso</i> =	$931.55 / (2.60 * 1000) =$	0.358 m^3
<i>Agua</i> =	$195.8 / 1000 =$	0.1958 m^3
<i>Aire</i> =	$0.025 =$	0.025 m^3
<i>Subtotal</i>	$=$	0.849475 m^3
<i>Ag. Fino</i> =	$1 - 0.849475 =$	0.15052 m^3

La porción de árido fino por metro cúbico es:

$$\text{Ag. Fino} = 0.15052 \times 2.54 \times 1000 = 382.333 \text{ kg}$$

Cantidades de cada elemento en peso por metro cúbico:

<i>Cemento</i>	$= 677.77 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Microsílice</i>	$= 75.31 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Ag. Fino</i>	$= 382.333 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Ag. Grueso</i>	$= 931.55 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Agua</i>	$= 195.8 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Total</i>	$= 2262.763 \text{ kg} / \text{m}^3$

Proporciones de la mezcla para 9 probetas:

<i>Cemento</i>	$=$	$677.77 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3$	$=$	11.712 kg
<i>Microsílice</i>	$=$	$75.31 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3$	$=$	1.301 kg
<i>Ag. Fino</i>	$=$	$3872.333 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3$	$=$	6.607 kg

$$\text{Ag. Grueso} = 931.55 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 16.097 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 195.8 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 3.383 \text{ kg}$$

Corrección debido al contenido de agua de los áridos:

$$\text{Capacidad de Absorción (\%): Agregado grueso: 1.88 \%}$$

$$\text{Agregado fino: 2.95 \%}$$

$$\text{Contenido de Humedad (\%): Agregado grueso: 2.72 \%}$$

$$\text{Agregado fino: 0.24 \%}$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (\text{Peso de agregado grueso}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (16.097 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = 16.232 \text{ kg}$$

Ajuste agregado fino

$$= (\text{Peso de agregado fino}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = (6.607 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = 6.428 \text{ kg}$$

Ajuste peso del agua

$$= \text{Peso de agua} - \text{peso de agr. grueso} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$- \text{peso de agr. fino} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.383 \text{ kg} - 16.097 \text{ kg} \times \left[\frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right] - 6.607 \text{ kg} \times \left[\frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.427 \text{ kg}$$

Tabla 58.

Resumen de pesos para la 4ta dosificación con 10% microsílíce SF-100.

Material	Peso (kg)
Cemento	11,712
Microsílíce	1,301
Agr. Grueso	16,232
Agr. Fino	6,428
Agua	3,427

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La cantidad de aditivo químico Sikament N100 se ha añadido dependiendo de la trabajabilidad que presenta la mezcla y por lo tanto del asentamiento deseado.

Aditivo SIKAMENT N100: 4,5% del peso del material cementicio

Peso del aditivo=585,6 gr.

4.4.6 MEZCLA 6: QUINTA ALTERNATIVA CON 12,5% DE MICROSÍLICE “SF-100”

El volumen de cada material por metro cúbico, excepto del fino, se muestra a continuación:

<i>Cemento</i> =	$658.94 / (2.87 * 1000) =$	0.230 m^3
<i>Microsílíce</i> =	$94.13 / (2.2 * 1000) =$	0.0428 m^3
<i>Ag. Grueso</i> =	$931.55 / (2.60 * 1000) =$	0.358 m^3
<i>Agua</i> =	$195.8 / 1000 =$	0.1958 m^3
<i>Aire</i> =	$0.025 =$	0.025 m^3
<i>Subtotal</i>	$=$	0.8516 m^3
<i>Ag. Fino</i> =	$1 - 0.8516 =$	0.14853 m^3

La porción de árido fino por metro cúbico es:

$$\text{Ag. Fino} = 0.14853 \times 2.54 \times 1000 = 377.258 \text{ kg}$$

Cantidades de cada elemento en peso por metro cúbico:

$$\text{Cemento} = 658.94 \text{ kg} / \text{m}^3$$

<i>Microsílice</i>	=	94.13 kg/ m ³
<i>Ag. Fino</i>	=	377.258 kg/ m ³
<i>Ag. Grueso</i>	=	931.55 kg/ m ³
<i>Agua</i>	=	195.8 kg/ m ³
<i>Total</i>	=	2257.678kg/ m ³

Proporciones de la mezcla para 9 probetas:

<i>Cemento</i>	=	658.94 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	11.387 kg
<i>Microsílice</i>	=	94.13 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	1.627 kg
<i>Ag. Fino</i>	=	377.258 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	6.519 kg
<i>Ag. Grueso</i>	=	931.55 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	16.097 kg
<i>Agua</i>	=	195.8 kg/ m ³ x 0.0170 m ³	=	3.383 kg

Corrección debido al contenido de agua de los áridos:

<i>Capacidad de Absorción (%)</i>	<i>Agregado grueso:</i>	1.88 %
	<i>Agregado fino:</i>	2.95 %
<i>Contenido de Humedad (%)</i>	<i>Agregado grueso:</i>	2.72 %
	<i>Agregado fino:</i>	0.24 %

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (\text{Peso de agregado grueso}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (16.097 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = 16.232 \text{ kg}$$

Ajuste agregado fino

$$= (\text{Peso de agregado fino}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = (6.519 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = 6.342 \text{ kg}$$

Ajuste peso del agua

$$= \text{Peso de agua} - \text{peso de agr. grueso} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right] \\ - \text{peso de agr. fino} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.383 \text{ kg} - 16.097 \text{ kg} \times \left[\frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right] - 6.519 \text{ kg} \times \left[\frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.425 \text{ kg}$$

Tabla 59.

Resumen de pesos para la 5ta dosificación con 12,5% microsílíce SF-100.

Material	Peso (kg)
Cemento	11,387
Microsílíce	1,627
Agr. Grueso	16,232
Agr. Fino	6,342
Agua	3,425

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La cantidad de aditivo químico Sikament N100 se ha añadido dependiendo de la trabajabilidad que presenta la mezcla y por lo tanto del asentamiento deseado.

Aditivo SIKAMENT N100: 4% del peso del material cementicio

Peso del aditivo= 520,5 gr.

4.4.7 MEZCLA 7: SEXTA ALTERNATIVA CON 15% DE MICROSÍLICE “SF-100”

El volumen de cada material por metro cúbico, excepto del fino, se muestra a continuación:

<i>Cemento</i> =	$640.12 / (2.87 * 1000) =$	0.223 m^3
<i>Microsílice</i> =	$112.96 / (2.2 * 1000) =$	0.0513 m^3
<i>Ag. Grueso</i> =	$931.55 / (2.60 * 1000) =$	0.358 m^3
<i>Agua</i> =	$195.8 / 1000 =$	0.1958 m^3
<i>Aire</i> =	$0.025 =$	0.025 m^3
<i>Subtotal</i>	$=$	0.853 m^3
<i>Ag. Fino</i> =	$1 - 0.853 =$	0.14653 m^3

La porción de árido fino por metro cúbico es:

$$\text{Ag. Fino} = 0.14653 \times 2.54 \times 1000 = 372.184 \text{ kg}$$

Cantidades de cada elemento en peso por metro cúbico:

<i>Cemento</i>	$= 640.12 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Microsílice</i>	$= 112.96 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Ag. Fino</i>	$= 372.184 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Ag. Grueso</i>	$= 931.55 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Agua</i>	$= 195.8 \text{ kg} / \text{m}^3$
<i>Total</i>	$= 2255.614 \text{ kg} / \text{m}^3$

Proporciones de la mezcla para 9 probetas:

<i>Cemento</i>	$= 640.12 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 =$	11.061 kg
<i>Microsílice</i>	$= 112.96 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 =$	1.952 kg
<i>Ag. Fino</i>	$= 372.184 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 =$	6.431 kg

$$\text{Ag. Grueso} = 931.55 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 16.097 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 195.8 \text{ kg/m}^3 \times 0.0170 \text{ m}^3 = 3.383 \text{ kg}$$

Corrección debido al contenido de agua de los áridos:

$$\text{Capacidad de Absorción (\%): Agregado grueso: } 1.88 \%$$

$$\text{Agregado fino: } 2.95 \%$$

$$\text{Contenido de Humedad (\%): Agregado grueso: } 2.72 \%$$

$$\text{Agregado fino: } 0.24 \%$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (\text{Peso de agregado grueso}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = (16.097 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado grueso} = 16.232 \text{ kg}$$

Ajuste agregado fino

$$= (\text{Peso de agregado fino}) \times \left[1 + \frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = (6.431 \text{ kg}) \times \left[1 + \frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste agregado fino} = 6.257 \text{ kg}$$

Ajuste peso del agua

$$= \text{Peso de agua} - \text{peso de agr. grueso} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right] \\ - \text{peso de agr. fino} \times \left[\frac{(\% \text{humedad} - \% \text{absorción})}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.383 \text{ kg} - 16.097 \text{ kg} \times \left[\frac{(2.72 - 1.88)}{100} \right] - 6.431 \text{ kg} \times \left[\frac{(0.24 - 2.95)}{100} \right]$$

$$\text{Ajuste peso del agua} = 3.422 \text{ kg}$$

Tabla 60.

Resumen de pesos para la 6ta dosificación con 15% microsílíce SF-100.

Material	Peso (kg)
Cemento	11,061
Microsílíce	1,952
Agr. Grueso	16,232
Agr. Fino	6,257
Agua	3,422

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La cantidad de aditivo químico Sikament N100 se ha añadido dependiendo de la trabajabilidad que presenta la mezcla y por lo tanto del asentamiento deseado.

Aditivo SIKAMENT N100: 3,5% del peso del material cementicio

Peso del aditivo= 455,461 gr.

Tabla 61.

Resumen de proporciones de materiales de dosificaciones en kilogramos por metro cúbico.

Materiales	Dosificación						
	Patrón	10% "Fundireciclár"	12,5% "Fundireciclár"	15% "Fundireciclár"	10% "SF100"	12,5% "SF100"	15% "SF100"
Cemento (kg/m ³)	753,07	677,77	658,94	640,12	677,77	658,94	640,12
Microsílíce (kg/m ³)	-	75,31	94,13	112,96	75,31	94,14	112,96
Agregado grueso (kg/m ³)	939,37	939,37	939,37	939,37	939,97	939,37	939,34
Agregado fino (kg/m ³)	391,72	404,87	408,15	441,42	371,97	367,03	362,1
Agua (kg/m ³)	198,89	199,25	199,34	199,44	198,34	198,2	198,1

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 62.

Resumen de cantidad de materiales para dosificaciones en kilogramos para 9 cilindros.

Materiales	Dosificación						
	Patrón	10% "Fundireciclar"	12,5% "Fundireciclar"	15% "Fundireciclar"	10% "SF100"	12,5% "SF100"	15% "SF100"
Cemento (kg)	13,01	11,71	11,38	11,06	11,71	11,38	11,06
Microsilíce (kg)	-	1,3	1,62	1,95	1,3	1,62	1,95
Agregado grueso (kg)	16,23	16,23	16,23	16,23	16,23	16,23	16,23
Agregado fino (kg)	6,76	6,51	6,45	6,38	6,428	6,34	6,25
Agua (kg)	3,43	3,43	3,42	3,42	3,427	3,42	3,422
Sikament N100 (gr)	-	182,2	156,2	195,2	585,6	520,5	455,46

Elaborado por: (Díaz & Terán)

4.5 MÉTODO DE MEZCLADO, MOLDEADO, CURADO Y REFRENTADO

4.5.1 PROCEDIMIENTO DE MEZCLA

Para obtener una buena homogenización de las mezclas, se dividió el agua de amasado en cuatro partes para mezclarlos con los otros componentes. Óptimos resultados se lograron obtener con el siguiente proceso de mezclado:

1. Se mezclaron primero los áridos finos y gruesos con un cuarto de agua por 30 segundos.
2. Luego, se agregó el material cementoso (cemento y microsilíce), combinándolo con un cuarto más del agua de amasado y se procedió a revolver por 2 minutos.
3. Seguidamente, se aplicó el porcentaje inicial de plastificante diluyéndolo con un cuarto de agua y se lo mezcló por 1 minuto.
4. En el caso de que la trabajabilidad sea mala, se empleó el restante de agua con un porcentaje extra de plastificante hasta encontrar la trabajabilidad y el asentamiento deseado.

4.5.2 MOLDEO

Debido a que la trabajabilidad de las mezclas iba de un rango de malo a aceptable, el método de consolidación por varillado no era el método adecuado. Se tomó la decisión consolidar con un vibrador externo. Se utilizó una mesa de vibrado con una frecuencia de 3600 vibraciones por minuto, el lapso de vibración necesario estará sujeto al grado de trabajabilidad del concreto y a la efectividad de la plancha, un periodo de tiempo inferior a 10 segundos por capa es más que suficiente, o hasta que la superficie del cilindro sea uniforme, todo esto sin que se produzca segregación en el hormigón (ASTM C192/C192M-19, 2019).



Figura 20. Mesa de vibración
Elaborado por: (Díaz & Terán)

4.5.3 CURADO

El curado de las probetas tiene una gran incidencia en la resistencia del concreto, por esto debe realizarse apropiadamente, controlando que la temperatura y la humedad sean suficientes y de esta manera promover el aumento de la resistencia a la compresión del concreto.

Se debe impedir la merma de agua a causa de la evaporación del espécimen luego del moldeado, por lo que se debe hacer un curado inicial de 24 horas en un lugar donde la temperatura este entre los 16 y 24°C. Una vez retirado al espécimen del molde metálico 24 ± 8 horas después de la fundición, se debe curar en húmedo a 23 ± 2 °C en tanques de almacenamiento hasta que el espécimen cumpla con la fecha deseada de ensayo de compresión (ASTM C192/C192M-19, 2019).



Figura 21. Cámara de curado
Elaborado por: (Díaz & Terán)

4.5.4 APLICACIÓN DE MÉTODO DE REFRENTADO NO ADHERIDO PARA ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS

El propósito de la aplicación del refrentado es garantizar que las superficies de las probetas sean regulares y tengan un paralelismo adecuado. Estas irregularidades pueden reducir la resistencia de la probeta hasta en un 30%, lo que podría dar como resultado valores alejados de la realidad.

El método de refrentado no adherido consiste en almohadillas de neopreno con espesor de $13 \pm 2\text{mm}$, que se insertan internamente en anillos de retención elaborados de acero o de cualquier otro material duradero.



Figura 22. Almohadillas de neopreno con anillos de retención
Elaborado por: (Díaz y Terán)

Para que los especímenes cilíndricos apliquen este sistema de refrentado deben cumplir con las siguientes características:

- Perpendicularidad.
- Planeidad en las caras.
- Los especímenes deben ser de 100 milímetros de sección transversal por 200 milímetros de alto.
- Los diámetros tomados a la mitad del espécimen no deben diferir en más del 2%.

Algunas ventajas del método no adherido:

- Menor tiempo de ejecución de ensayos de compresión
- Más seguridad
- Menor contaminación
- Menor costo

4.6 ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS A LA EDAD DE 7, 28 Y 90 DÍAS

Para estudiar la evolución de la resistencia a la compresión simple del hormigón endurecido, se prepararon especímenes para ensayarlos a 7, 28 y 90 días.

Las muestras deben ser sometidas a compresión axial en condiciones húmedas según la norma INEN 1573 dentro de los límites de tiempo establecidos (tabla 10). (NTE INEN 1573, 2010)

4.7 RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE PROBETAS A LA EDAD DE 7, 28 Y 90 DÍAS

Los valores de resistencia a la compresión resultantes de las probetas se muestran a continuación.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

PATRÓN						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
FECHA ELAB: 06 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 13 DE SEPTIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO	DIÁMETRO PROM.		MPa	%
	Gr	mm	cm	kN		
Z1	3704,4	101,25	10,125	304,2	37,9	68,9
		101,25				
		101,25				
Z2	3777,8	102,25	10,225	314,9	38,4	69,8
		102,25				
		102,25				
Z3	3713,3	101,75	10,175	335,4	41,3	75,1
		101,75				
		101,75				
PROMEDIO=				39,20	71,27	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE FUNDIRECICLAR 10%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
FECHA ELAB: 08 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO	DIÁMETRO PROM.		MPa	%
	Gr	mm	cm	kN		
Q1	3682,2	101,75	10,175	217,9	26,8	48,7
		101,75				
		101,75				
Q2	3713,7	102,25	10,225	219,7	26,5	48,2
		102,25				
		102,25				
Q3	3728,8	102,25	10,225	220,2	26,8	48,7
		102,25				
		102,25				
PROMEDIO=					26,70	48,55



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE FUNDIRECICLAR 12.5%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
FECHA ELAB: 08 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	%
P1	3682,1	100,75	10,075	217,9	27,3	49,6
		100,75				
		100,75				
P2	3630,2	101,00	10,100	219,7	27,4	49,8
		101,00				
		101,00				
P3	3691,5	101,75	10,175	217,8	26,8	48,7
		101,75				
		101,75				
PROMEDIO=				27,17	49,39	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE FUNDIRECICLAR 15%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
FECHA ELAB: 08 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 15 DE SEPTIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO	DIÁMETRO PROM.		kN	MPa
	Gr	mm	cm			
R1	3734,2	101,75	10,175	200,7	24,7	44,9
		101,75				
		101,75				
R2	3803,5	103,00	10,300	200,7	24,1	43,8
		103,00				
		103,00				
R3	3755,5	101,75	10,175	213,3	26,1	47,5
		101,75				
		101,75				
PROMEDIO=					24,97	45,39



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE SF-100 10%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
FECHA ELAB: 07 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 14 DE SEPTIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	%
V1	3657,6	102,00	10,200	265	32,4	58,9
		102,00				
		102,00				
V2	3738,3	102,00	10,200	276,1	33,8	61,5
		102,00				
		102,00				
V3	3747,6	102,75	10,275	285,7	34,5	62,7
		102,75				
		102,75				
PROMEDIO=					33,57	61,03



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE SF-100 12,5%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
FECHA ELAB: 07 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 14 DE SEPTIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO	DIÁMETRO PROM.		MPa	%
	Gr	mm	cm	kN		
X1	3749,2	102,25	10,225	300,8	36,6	66,5
		102,25				
		102,25				
X2	3677,3	101	10,100	292,8	36,5	66,4
		101				
		101				
X3	3675,7	101,5	10,150	305,4	37,8	68,7
		101,5				
		101,5				
PROMEDIO=					36,97	67,21



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE SF-100 15%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS						
FECHA ELAB: 06 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 13 DE SEPTIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO	DIÁMETRO PROM.		MPa	%
	Gr	mm	cm	kN		
Y1	3740,1	102,00	10,200	333,5	40,8	74,2
		102,00				
		102,00				
Y2	3661,8	101,25	10,125	336,9	41,9	76,2
		101,25				
		101,25				
Y3	3775,4	102,50	10,250	334,6	40,5	73,6
		102,50				
		102,50				
PROMEDIO=					41,07	74,67



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

PATRÓN						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
FECHA ELAB: 06 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 04 DE OCTUBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	%
Z4	3787	102	10,200	472,9	57,9	105,3
		102				
		102				
Z5	3781	101,5	10,150	454,8	56,1	102,0
		101,5				
		101,5				
Z6	3766	102	10,200	456	55,9	101,6
		102				
		102				
PROMEDIO=					56,63	102,97



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE FUNDIRECICLAR 10%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
FECHA ELAB: 08 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 06 DE OCTUBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	%
Q4	3767	102	10,200	341,9	41,9	76,2
		102				
		102				
Q5	3734	101,25	10,125	323,8	40,2	73,1
		101,25				
		101,25				
Q6	3681	100,75	10,075	314,1	39,3	71,5
		100,75				
		100,75				
PROMEDIO=					40,47	73,58



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE FUNDIRECICLAR 12.5%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
FECHA ELAB: 08 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 06 DE OCTUBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO	DIÁMETRO PROM.		MPa	%
	Gr	mm	cm	kN		
P4	3611	101	10,100	309,5	38,6	70,2
		101				
		101				
P5	3724	102	10,200	301,6	36,9	67,1
		102				
		102				
P6	3663	100,75	10,075	330,1	41,4	75,3
		100,75				
		100,75				
PROMEDIO=					38,97	70,85



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE FUNDIRECICLAR 15%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
FECHA ELAB: 08 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 06 DE OCTUBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO	DIÁMETRO PROM.		MPa	%
	Gr	mm	cm	kN		
R4	3742	102	10,200	318,2	39,0	70,9
		102				
		102				
R5	3737	101,75	10,175	326,7	40,2	73,1
		101,75				
		101,75				
R6	3713	101,25	10,125	282,8	35,2	64,0
		101,25				
		101,25				
PROMEDIO=					38,13	69,33



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE SF-100 10%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
FECHA ELAB: 07 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 05 DE OCTUBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	%
V4	3710	101,5	10,150	430,6	53,2	96,7
		101,5				
		101,5				
V5	3697	101	10,100	414,3	51,8	94,2
		101				
		101				
V6	3733	102	10,200	432,8	53,0	96,4
		102				
		102				
PROMEDIO=					52,67	95,76



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE SF-100 12,5%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
FECHA ELAB: 07 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 05 DE OCTUBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	%
X4	3680	101	10,100	440,2	54,9	99,8
		101				
		101				
X5	3755	102	10,200	468,7	57,5	104,5
		102				
		102				
X6	3721	101,25	10,125	428,1	53,1	96,5
		101,25				
		101,25				
PROMEDIO=					55,17	100,30



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE SF-100 15%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS						
FECHA ELAB: 06 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 04 DE OCTUBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO	DIÁMETRO PROM.		MPa	%
	Gr	mm	cm	kN		
Y4	3736	101,75	10,175	485,2	59,6	108,4
		101,75				
		101,75				
Y5	3751	101,5	10,150	504,8	62,5	113,6
		101,5				
		101,5				
Y6	3823	102,75	10,275	500	60,3	109,6
		102,75				
		102,75				
PROMEDIO=					60,80	110,55



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

PATRÓN						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 92 DÍAS						
FECHA ELAB: 06 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 05 DE DICIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	% (f_c)
Z7	3765,2	102	10,200	618	75,6	137,5
		102				
Z12	3768,3	101,25	10,125	592,2	73,5	133,6
		101,25				
PROMEDIO=					74,55	135,55



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE FUNDIRECICLAR 10%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 90 DÍAS						
FECHA ELAB: 08 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 07 DE DICIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	% (f_c)
Q7	3766,3	102,75	10,275	429,9	51,8	94,2
		102,75				
Q9	3735,5	101,25	10,125	453,7	56,3	102,4
		101,25				
PROMEDIO=					54,05	98,27



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE FUNDIRECICLAR 12,5%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 90 DÍAS						
FECHA ELAB: 08 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 07 DE DICIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	% (f_c)
P7	3655,2	101	10,100	425,7	53,1	96,5
		101				
P8	3678,6	101,5	10,150	459,1	56,7	103,1
		101,5				
PROMEDIO=					54,90	99,82



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE FUNDIRECICLAR 15%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 90 DÍAS						
FECHA ELAB: 08 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 07 DE DICIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	% (f_c)
R8	3701,3	101,25	10,125	428,1	53,2	96,7
		101,25				
R10	3698,4	101,25	10,125	435,2	54,0	98,2
		101,25				
PROMEDIO=					53,60	97,45



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE SF-100 10%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 91 DÍAS						
FECHA ELAB: 07 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 07 DE DICIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	% (f_c)
V8	3707,14	101,25	10,125	528,2	65,6	119,3
		101,25				
V10	3697,12	102	10,200	541,2	66,2	120,4
		102				
PROMEDIO=					65,90	119,82



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE SF-100 12,5%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 91 DÍAS						
FECHA ELAB: 07 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 07 DE DICIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	% (f_c)
X7	3772,5	102,75	10,275	569,7	68,7	124,9
		102,75				
		102,75				
X9	3762,1	101,75	10,175	502	61,7	112,2
		101,75				
		101,75				
X10	3,456	102,05	10,205	559,4	68,4	124,4
		102,05				
		102,05				
PROMEDIO=					66,27	120,48



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

PROYECTO: DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE.

RESISTENCIA DE DISEÑO: $f_c = 55 \text{ MPa}$

AGREGADOS: PIFO

NORMA: ASTM C39

MICROSÍLICE SF-100 15%						
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 92 DÍAS						
FECHA ELAB: 06 DE SEPTIEMBRE 2022 – FECHA ROTURA: 07 DE DICIEMBRE DEL 2022						
1	2	3	4	5	6	7
NOMBRE	PESO Gr	DIMENSIONES		CARGA DE FALLA kN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	
		DIÁMETRO mm	DIÁMETRO PROM. cm		MPa	% (f_c)
Y7	3736	101	10,100	619,2	77,3	140,5
		101				
		101				
Y10	3751	101,3	10,130	618	76,7	139,4
		101,3				
		101,3				
Y11	3823	101,75	10,175	694,7	85,4	155,3
		101,75				
		101,75				
PROMEDIO=					79,80	145,08

4.8 MÓDULO DE ELASTICIDAD

Se realizaron ensayos de módulo de elasticidad a los 90 días de edad, únicamente de las mezclas con mejores resultados de resistencia a la compresión. Las muestras se sometieron a carga axial hasta llegar a aproximadamente al 40% de la carga total soportada, para de esta manera se logre tomar las medidas de deformación unitaria dentro del rango elástico. Se muestran los resultados obtenidos.

MÓDULO DE ELASTICIDAD: MEZCLA PATRÓN

EDAD: 90 DÍAS

Tabla 63.

Características de la probeta patrón a los 90 días.

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
Diámetro (mm)	100,8
Altura (mm)	196
Peso (gr)	3751
Peso unitario (gr/cm ³)	2,4

Elaborado por: (Díaz & Terán)



Figura 23. Esfuerzo vs deformación unitaria mezcla Patrón a los 90 días.

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 64.

Resumen de resultados de la probeta patrón a los 90 días.

RESUMEN DE RESULTADOS	
Carga máxima (KN)	618
Módulo de Elasticidad (MPa)	33007
Resistencia a la compresión (MPa)	77,44

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 65.

Datos de la deformación de la mezcla patrón a los 90 días.

DEFORMACIÓN "PATRÓN"		
CARGA	DEF. AXIAL	ESFUERZO
(KN)	($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)	(MPa)
0.0	0	0,00
10.0	31	1,25
20.0	66	2,51
30.0	102	3,76
40.0	137	5,01
50.0	175	6,27
75.0	276	9,40
100.0	367	12,53
125.0	460	15,66
150.0	554	18,80
200.0	742	25,06
250.0	947	31,33
0.0	0	0,00
10.0	29	1,25
20.0	64	2,51
30.0	104	3,76
40.0	140	5,01
50.0	179	6,27
75.0	278	9,40
100.0	382	12,53
125.0	476	15,66
150.0	570	18,80
200.0	755	25,06
250.0	952	31,33

Elaborado por: (Díaz & Terán)

MÓDULO DE ELASTICIDAD: MEZCLA CON MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR 12,5%"

EDAD: 90 DÍAS

Tabla 66.

Características de la probeta microsíllice Fundireciclar a los 90 días.

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
Diámetro (mm):	101,8
Altura (mm):	196
Peso (gr):	3577.8
Peso unitario (gr/cm ³):	2,24

Elaborado por: (Díaz & Terán)

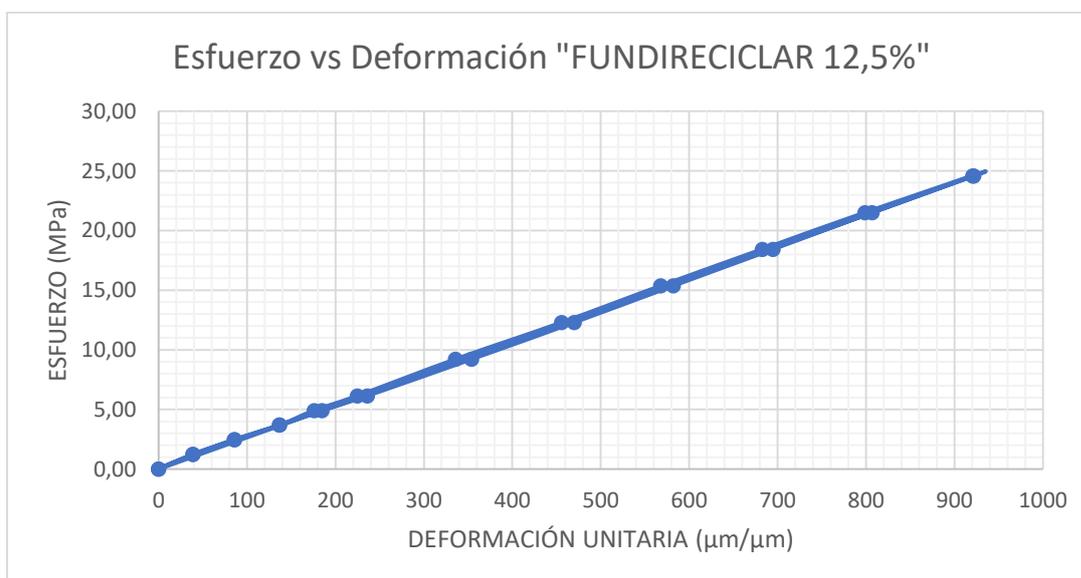


Figura 24. Esfuerzo vs deformación unitaria mezcla microsíllice Fundireciclar a los 90 días.

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 67.

Resumen de resultados de la probeta microsíllice Fundireciclar a los 90 días.

RESUMEN DE RESULTADOS	
Carga máxima (KN):	453,65
Módulo de Elasticidad (MPa):	26771
Resistencia a la compresión (MPa):	55,74

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 68.

Datos de la deformación de la mezcla microsílíce Fundireciclar a los 90 días.

DEFORMACIÓN "FUNDIRECICLAR 12,5%"		
CARGA	DEF. AXIAL	ESFUERZO
(KN)	($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)	(MPa)
0.0	0	0,00
10.0	39	1,23
20.0	86	2,46
30.0	137	3,69
40.0	176	4,91
50.0	225	6,14
75.0	336	9,21
100.0	456	12,29
125.0	568	15,36
150.0	683	18,43
175.0	799	21,50
200.0	922	24,57
0.0	0	0,00
10.0	39	1,23
20.0	86	2,46
30.0	137	3,69
40.0	185	4,91
50.0	236	6,14
75.0	354	9,21
100.0	470	12,29
125.0	582	15,36
150.0	695	18,43
175.0	807	21,50
200.0	921	24,57

Elaborado por: (Díaz & Terán)

MÓDULO DE ELASTICIDAD: MEZCLA CON MICROSÍLICE "SF-100 15%"

EDAD: 90 DÍAS

Tabla 69.

Características de la probeta microsíllice SF-100 a los 90 días.

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
Diámetro (mm):	101,8
Altura (mm):	196
Peso (gr):	3568,6
Peso unitario (gr/cm ³):	2,24

Elaborado por: (Díaz & Terán)

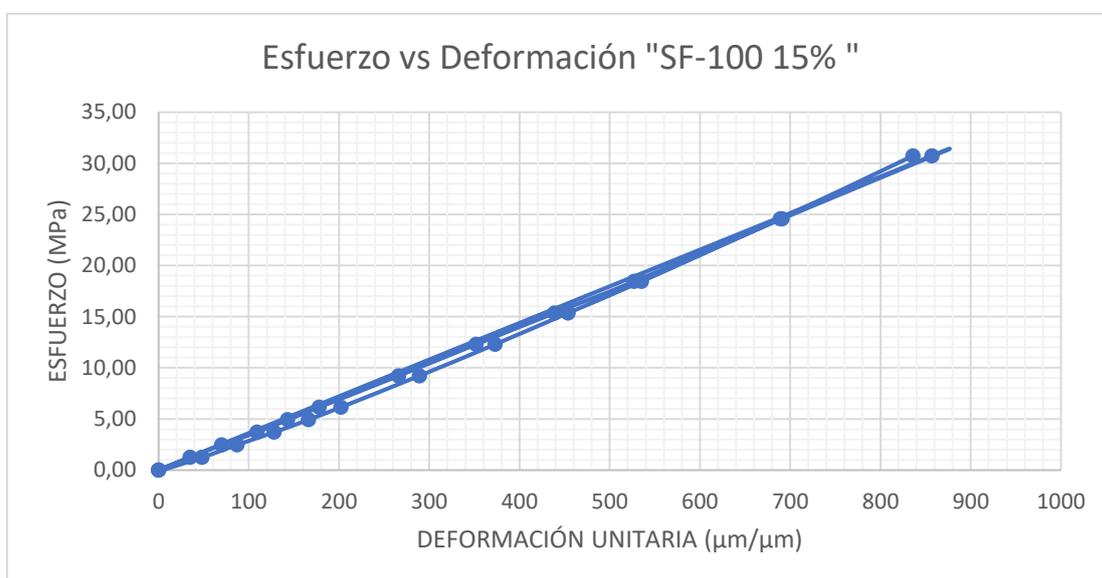


Figura 25. Esfuerzo vs deformación unitaria mezcla microsíllice SF-100 a los 90 días.

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 70.

Resumen de resultados de la probeta microsíllice SF-100 a los 90 días.

RESUMEN DE RESULTADOS	
Carga máxima (KN):	694,73
Módulo de Elasticidad (MPa):	36297
Resistencia a la compresión (MPa):	85,36

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 71.

Datos de la deformación de la mezcla microsílíce SF-100 a los 90 días.

DEFORMACIÓN "SF-100 15%"		
CARGA	DEF. AXIAL	ESFUERZO
(KN)	($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)	(MPa)
0.0	0	0,00
10.0	35	1,23
20.0	70	2,46
30.0	109	3,69
40.0	143	4,91
50.0	178	6,14
75.0	266	9,21
100.0	352	12,29
125.0	439	15,36
150.0	527	18,43
200.0	691	24,57
250.0	857	30,72
0.0	0	0,00
10.0	48	1,23
20.0	87	2,46
30.0	128	3,69
40.0	166	4,91
50.0	202	6,14
75.0	289	9,21
100.0	373	12,29
125.0	454	15,36
150.0	535	18,43
200.0	689	24,57
250.0	836	30,72

Elaborado por: (Díaz & Terán)

CAPÍTULO 5

5 RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

La intención de este estudio es llevar a cabo la comparación de las propiedades físico-mecánicas entre las mezclas patrón y las mezclas que contienen microsílíce, con el fin de analizar la influencia de las adiciones de microsílíce en el concreto.

5.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL HORMIGÓN

Tabla 72.

Resultados de propiedades físicas

Mezcla	Temperatura (°C)	Asentamiento (cm)	Consistencia	Trabajabilidad	Cohesión	Densidad 28 días (kg/m ³)
PATRÓN	15	10,0	Húmeda	Muy Buena	Buena	2353,33
MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR" 10%	17	5,5	Media	Regular	Buena	2296,67
MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR" 12,5%	17	4,5	Semi seca	Mala	Regular	2266,67
MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR" 15%	18	4,5	Semi seca	Regular	Regular	2320
MICROSÍLICE "SF-100" 10%	19	5,5	Media	Regular	Buena	2306,67
MICROSÍLICE "SF-100" 12,5%	21	6,5	Media	Buena	Muy Buena	2313,33
MICROSÍLICE "SF-100" 15%	21	6,0	Media	Buena	Muy buena	2300

Elaborado por: (Díaz & Terán)

5.1.1.1 TEMPERATURA

Se demuestra que mientras exista una mayor cantidad de reemplazo de cemento por microsílíce, existe un notable incremento en la temperatura del hormigón en estado fresco. La mezcla patrón presenta una temperatura de 15°C, mientras que las mezclas con porcentaje de reemplazo del cemento poseen una temperatura superior de 17 a 21 °C. Cabe mencionar que los valores de temperatura de todas las mixturas se encuentran dentro del rango recomendado por la ASTM C94/C94M (13 °C).

5.1.1.2 ASENTAMIENTO

Es evidente que mientras se aumenta la cantidad de reemplazo del cemento, el hormigón pierde asentamiento notablemente, esto se da debido a que el microsílíce tiene una capacidad de absorción mayor que la de los otros componentes del hormigón. Las mezclas que presentaron los asentamientos más críticos son las aquellas que contienen el microsílíce "FUNDIRECICLAR"

5.1.1.3 TRABAJABILIDAD Y CONSISTENCIA

Estos parámetros se ajustaban mediante la aplicación de diferentes porcentajes de plastificante. La trabajabilidad de la mezcla patrón es muy buena, sin embargo, la trabajabilidad tiende a ser de mala a regular cuando se emplea el aditivo mineral.

5.1.1.4 COHESIÓN

Durante el proceso de amasado se pudo identificar que las mezclas que contenían plastificante tendían a formar una masa casi inseparable. Las mezclas con mejor cohesión presentaron mayor resistencia a la rotura del concreto.

5.1.1.5 DENSIDAD

Los valores de densidad se encuentran entre los valores de un hormigón normal (2300-2500 kg/m³), es decir que la densidad no se ve afectada por la adición de microsílíce y aditivo plastificante.

5.1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

A través de ensayos de resistencia a la compresión se reconoció que las mezclas lograron obtener resistencias mayores a la resistencia de diseño, incluso mayores a la resistencia requerida a los 90 días, a excepción de las mezclas que contienen el microsílíce de "FUNDIRECICLAR". Los valores medios de resistencia ensayados a los 7, 28 y 90 días se expresan en la tabla 73.

Tabla 73.

Resumen de valores medios de resistencia a la compresión.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)		
	7 DÍAS	28 DÍAS	90 DÍAS
PATRÓN	39,20	56,63	74,55
10% MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR"	26,70	40,47	54,05
12,5% MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR"	27,17	38,97	54,90
15% MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR"	24,97	38,13	53,60
10% MICROSÍLICE "SF-100"	33,57	52,67	65,90
12,5% MICROSÍLICE "SF-100"	36,97	55,17	66,27
15% MICROSÍLICE "SF-100"	41,07	60,80	79,80

Elaborado por: (Díaz & Terán)

5.1.2.1 ANÁLISIS DE LA MEZCLA PATRÓN

Los valores de resistencia a la rotura de la mezcla patrón reflejaron excelentes resultados, alcanzando la resistencia de diseño a los 28 días, y a los 90 días superó la resistencia requerida.

Tabla 74.

Resultados de ensayos de resistencia a la compresión de la mezcla patrón a diferentes edades.

IDENTIFICACIÓN	MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
		7 DÍAS (MPa)	28 DÍAS (MPa)	90 DÍAS (MPa)
Z1	PATRÓN	37,9	-	-
Z2		38,4	-	-
Z3		41,3	-	-
Z4		-	57,9	-
Z5		-	56,1	-
Z6		-	55,9	-
Z7		-	-	75,6
Z12		-	-	73,5
PROMEDIO		39,20	56,63	74,55

Elaborado por: (Díaz & Terán)

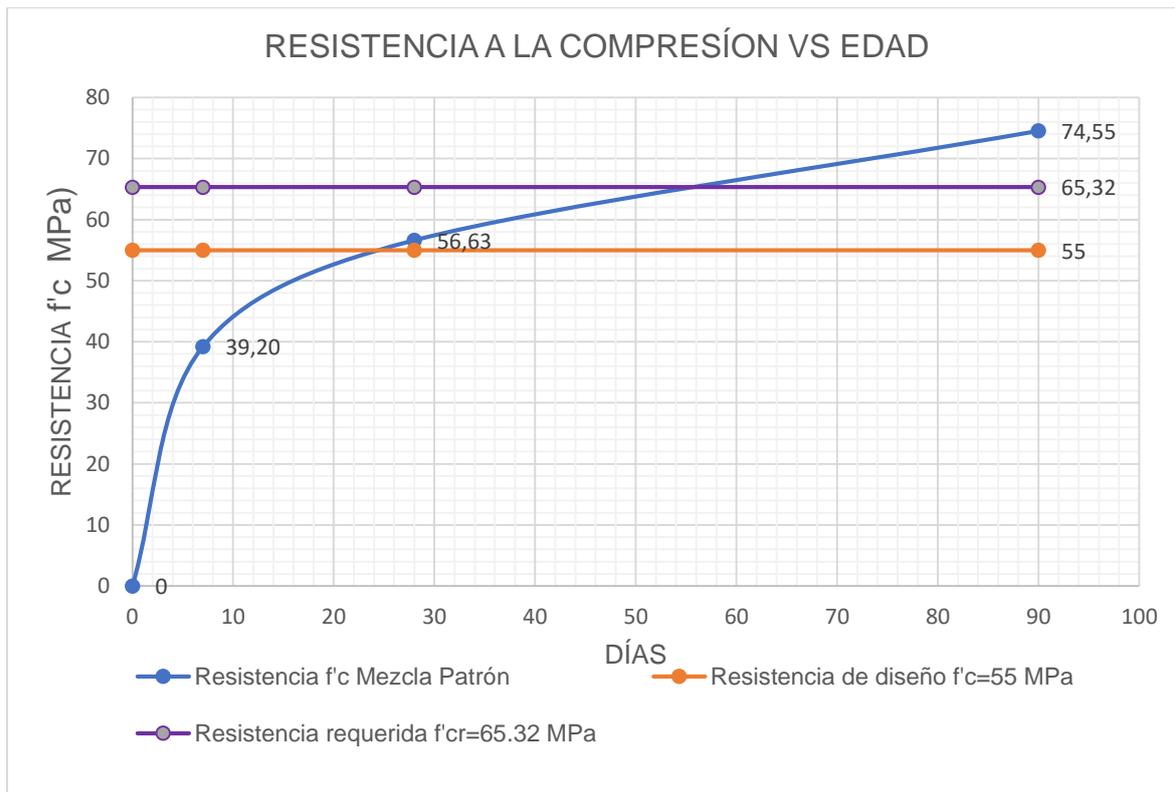


Figura 26. Resistencia a la compresión vs. edad de rotura de mezclas Patrón.

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La figura indica el crecimiento de la resistencia con respecto la edad a la que se llevó a los especímenes a la rotura. También se puede apreciar que la mezcla logró alcanzar aproximadamente la resistencia requerida a los 56 días de edad.

5.1.2.2 COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 7 DÍAS ENTRE LA MEZCLA PATRÓN Y LAS MEZCLAS CON MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR” Y “SF-100”

Las tablas 75 y 76 muestran los resultados de resistencia y su porcentaje de desarrollo conseguidos por medio de los ensayos de resistencia a la compresión de la mezcla patrón y de las mezclas con microsilíce “FUNDIRECICLAR” y “SF-100” respectivamente a los 7 días.

Tabla 75.

Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsilíce "FUNDIRECICLAR" a la edad de 7 días.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (7 DÍAS)		
	MPa	MEDIA	% DESARROLLO
PATRÓN	37,9	39,2	71,3
	38,4		
	41,3		
MICROSÍLICE "SF-100" 10%	32,4	33,6	61,0
	33,8		
	34,5		
MICROSÍLICE "SF-100" 12,5%	36,6	37,0	67,2
	36,5		
	37,8		
MICROSÍLICE "SF-100" 15%	40,8	41,1	74,7
	41,9		
	40,5		

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La mezcla patrón, con un porcentaje de desarrollo de resistencia del 71,3%, es superior al porcentaje de desarrollo esperado a los 7 días de ensayo (65%). Las mezclas con porcentaje de reemplazo no cumplen con el porcentaje de desarrollo esperado a los 7 días, el valor más cercano a la resistencia esperada a dicha edad es la mezcla que contiene un 12,5% de microsilíce "FUNDIRECICLAR" como porcentaje de reemplazo del cemento, con un porcentual de desarrollo de 49,4%.

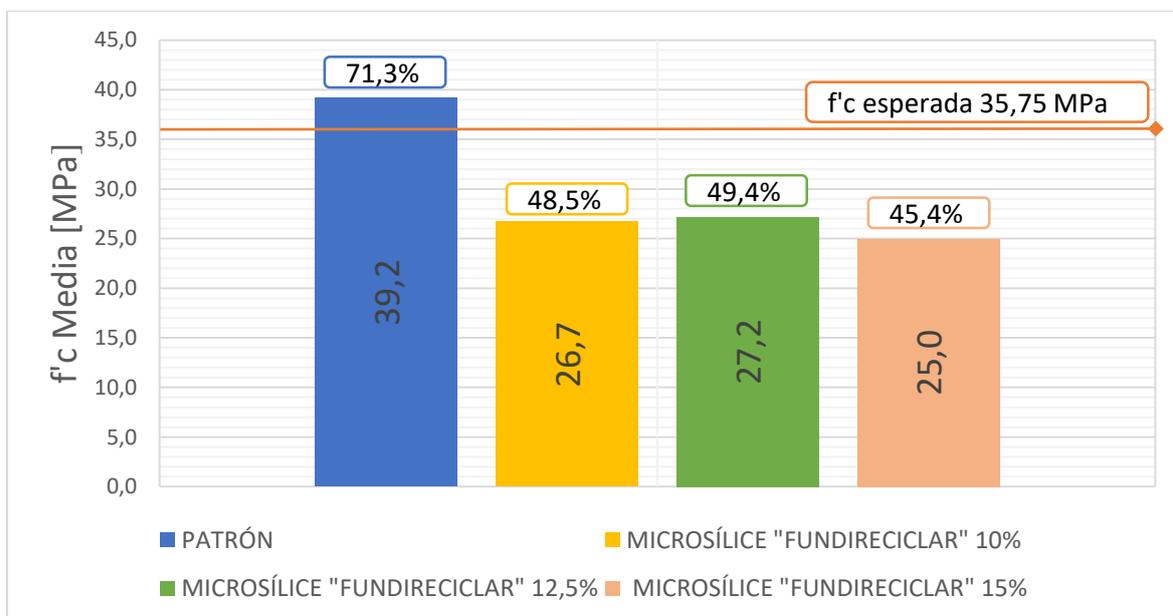


Figura 27. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsilíce "FUNDIRECICLAR" (7 días).

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 76.

Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsilíce "SF-100" a la edad de 7 días.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (7 DÍAS)		
	MPa	MEDIA	% DESARROLLO
PATRÓN	37,9	39,2	71,3
	38,4		
	41,3		
MICROSÍLICE "SF-100" 10%	32,4	33,6	61,0
	33,8		
	34,5		
MICROSÍLICE "SF-100" 12,5%	36,6	37,0	67,2
	36,5		
	37,8		
MICROSÍLICE "SF-100" 15%	40,8	41,1	74,7
	41,9		
	40,5		

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Dos mezclas con porcentaje de reemplazo cumplen con el porcentaje de desarrollo esperado a los 7 días, las mezclas que superaron el porcentaje de la resistencia esperada a dicha edad son las mezclas que contienen un 12,5% y 15% de microsilíce "SF-100" como porcentaje de reemplazo del cemento, con un desarrollo de 67,2% y 74,7% respectivamente.

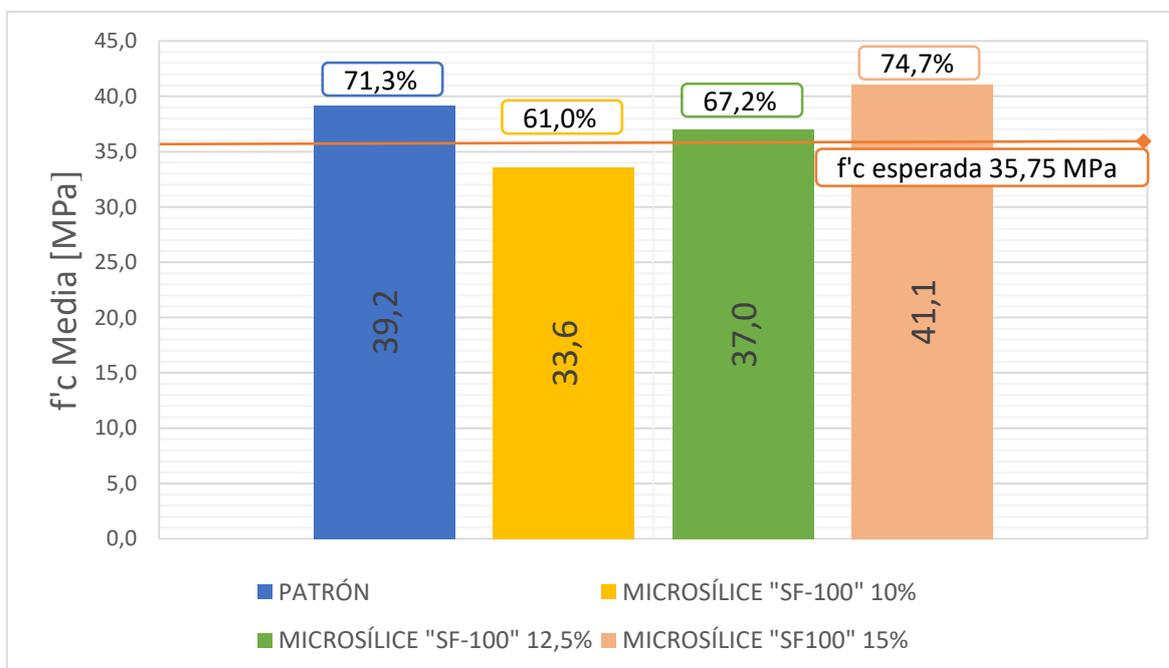


Figura 28. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsilíce "SF-100" (7 días).

Elaborado por: (Díaz & Terán)

5.1.2.3 COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 28 DÍAS ENTRE LA MEZCLA PATRÓN Y LAS MEZCLAS CON MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR” Y “SF-100”

Las tablas 77 y 78 muestran los resultados de resistencia y su porcentaje de incremento conseguidos por medio de los ensayos de resistencia a la compresión de la mezcla patrón y de las mezclas con microsilíce "FUNDIRECICLAR" y "SF-100" respectivamente a la edad de 28 días.

Tabla 77.

Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsilíce “FUNDIRECICLAR” a la edad de 28 días.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28 DÍAS)		
	MPa	MEDIA	% DESARROLLO
PATRÓN	57,9	56,6	103,0
	56,1		
	55,9		
MEZCLA MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR” 10%	41,9	40,5	73,6
	40,2		
	39,3		
MEZCLA MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR” 12,5%	38,6	39,0	70,8
	36,9		
	41,4		
MEZCLA MICROSÍLICE “FUNDIRECICLAR” 15%	39	38,1	69,3
	40,2		
	35,2		

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La mezcla patrón, con un porcentaje de desarrollo de resistencia del 103%, es superior al porcentaje de desarrollo esperado a los 28 días de ensayo (100%). Las mezclas con porcentaje de reemplazo no cumplen con el porcentaje de desarrollo esperado a los 28 días, el valor más cercano a la resistencia esperada a dicha edad es la mezcla que contiene el 10% de microsilíce “FUNDIRECICLAR” como porcentaje de reemplazo del cemento, con un desarrollo de 73,6%.

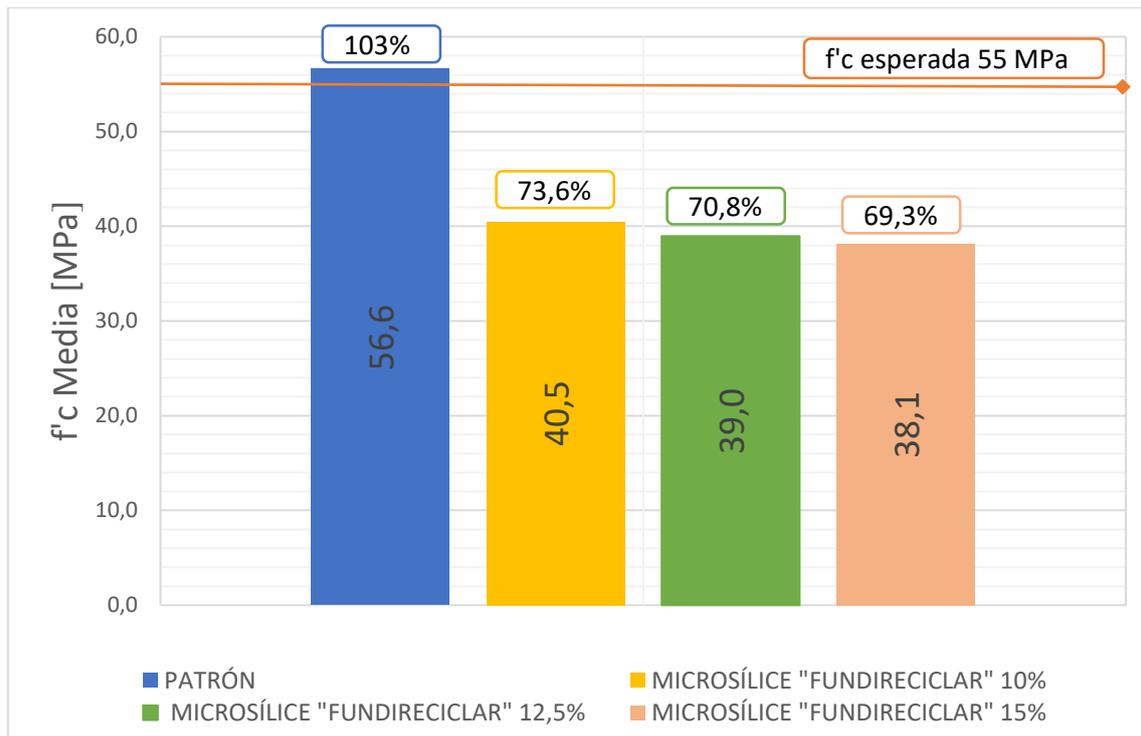


Figura 29. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsílice "FUNDIRECICLAR" (28 días).

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 78.

Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsílice "SF-100" a la edad de 28 días.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (28 DÍAS)		
	MPa	MEDIA	% DESARROLLO
PATRÓN	57,9	56,6	103,0
	56,1		
	55,9		
MICROSÍLICE "SF-100" 10%	53,2	52,7	95,8
	51,8		
	53		
MICROSÍLICE "SF-100" 12,5%	54,9	55,2	100,3
	57,5		
	53,1		
MICROSÍLICE "SF100" 15%	59,6	60,8	110,5
	62,5		
	60,3		

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Dos mezclas con porcentaje de reemplazo, en este caso, cumplen con la condición del porcentaje de desarrollo de resistencia esperado a los 28 días, las mezclas que superaron esta condición a dicha edad son las mezclas que contienen un 12,5% y 15% de microsilíce "SF-100" como porcentaje de reemplazo del cemento, con un porcentaje de desarrollo de 100,3% y 110,5% respectivamente. Sin embargo, la mezcla que tiene un 10% de reemplazo, a pesar de tener menor cantidad de microsilíce que sus mezclas compañeras, se acerca bastante al 100% de crecimiento.

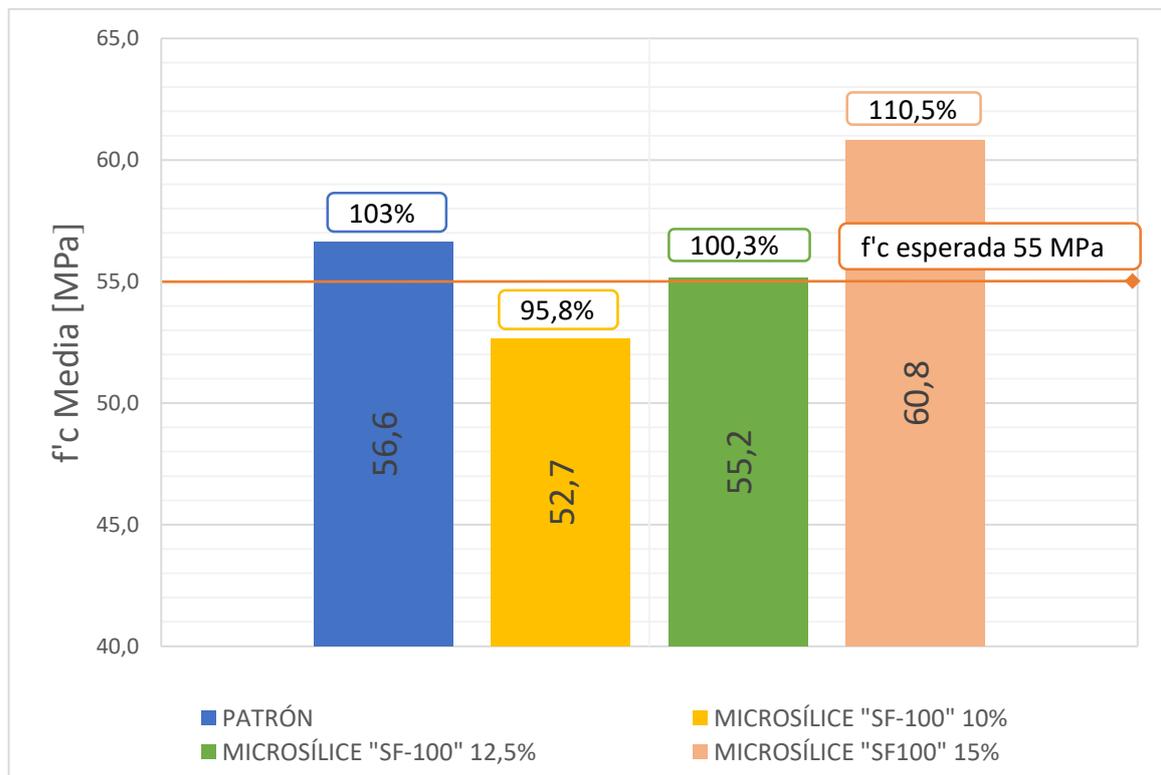


Figura 30. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsilíce "SF-100" (28 días).

Elaborado por: (Díaz & Terán)

5.1.2.4 COMPARACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LA EDAD DE 90 DÍAS ENTRE LA MEZCLA PATRÓN Y LAS MEZCLAS CON MICROSIÍLICE "FUNDIRECICLAR" Y "SF-100"

Las tablas 79 y 80 muestran los resultados de resistencia y su porcentaje de incremento conseguidos por medio de los ensayos de resistencia a la compresión de la mezcla patrón y de las mezclas con microsilíce "FUNDIRECICLAR" y "SF-100" respectivamente a la edad de 90 días.

Tabla 79.

Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsílíce "FUNDIRECICLAR" a la edad de 90 días.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (90 DÍAS)			
	MPa	MEDIA	% DESARROLLO (f'c)	% DESARROLLO (f'cr)
PATRÓN	73,5	74,6	135,5	114,1
	75,6			
MEZCLA MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR" 10%	51,8	54,1	98,3	82,7
	56,3			
MEZCLA MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR" 12,5%	53,1	54,9	99,8	84,0
	56,7			
MEZCLA MICROSÍLICE "FUNDIRECICLAR" 15%	53,2	53,60	97,5	82,1
	54			

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La mezcla patrón tiene un esfuerzo a la compresión medio de 74,6MPa, con un porcentaje de desarrollo de resistencia del 135,5% con respecto a la resistencia de diseño (55MPa), y un 114,1% de incremento con respecto a la resistencia requerida (65,32MPa). Sin embargo, las mezclas con porcentaje de reemplazo no logran alcanzar la resistencia de diseño a pesar de tener 90 días de edad, el valor más cercano a dicha resistencia es la mezcla que contiene el 12,5% de microsílíce "FUNDIRECICLAR" como porcentaje de reemplazo del cemento, con un desarrollo del 99,8%.

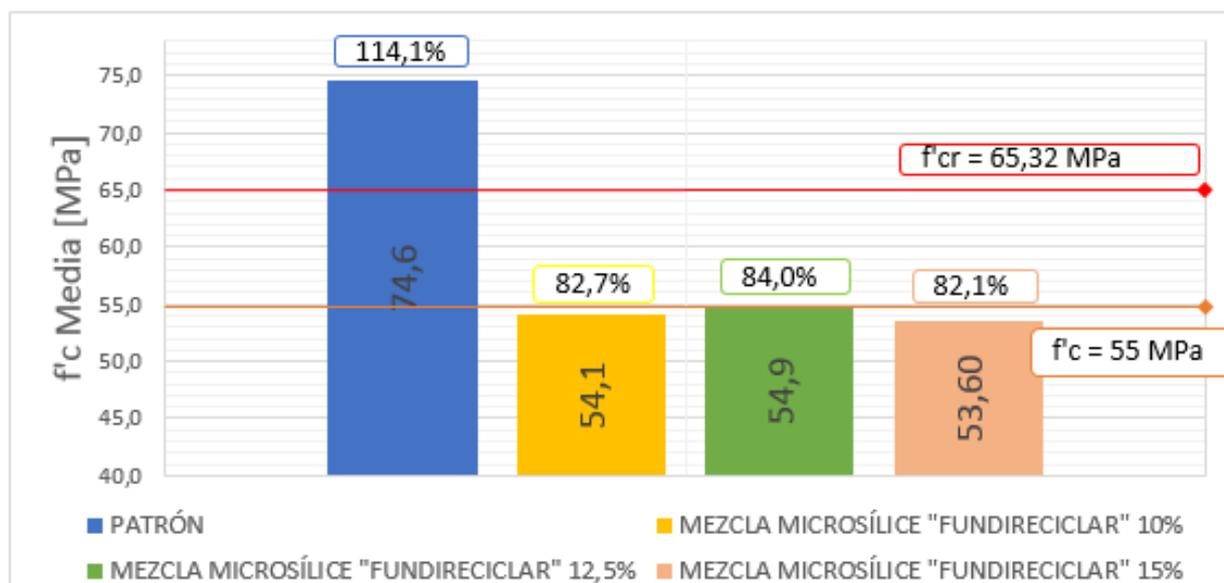


Figura 31. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsílíce "FUNDIRECICLAR" (90 días).

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Tabla 80.

Valores medios de ensayos de resistencia a la compresión y porcentaje de desarrollo de la mezcla patrón y de las mezclas con microsílíce "SF-100" a la edad de 90 días.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (90 DÍAS)			
	MPa	MEDIA	% DESARROLLO (f'c)	% DESARROLLO (f'cr)
PATRÓN	73,5	74,6	135,5	114,1
	75,6			
MEZCLA MICROSÍLICE "SF-100" 10%	65,6	65,9	119,8	100,9
	66,2			
MEZCLA MICROSÍLICE "SF-100" 12,5%	68,7	66,3	120,5	101,4
	68,4			
	61,7			
MEZCLA MICROSÍLICE "SF100" 15%	77,3	79,8	145,1	122,2
	85,4			
	76,69			

Elaborado por: (Díaz & Terán)

En este caso, las mezclas con este tipo de microsílíce sobrepasan la resistencia de diseño sin dificultad, y hasta superan a la resistencia requerida. La mezcla con 15% de microsílíce "SF-100" adquiere a los 90 días de edad una resistencia media de 79,8MPa, demostrando un porcentaje de desarrollo de 122,2% con respecto a la resistencia requerida, siendo esta la mezcla con mayor resistencia adquirida a los 7, 28 y 90 días de edad. Las mezclas que adicionan microsílíce "SF-100" al 10% y 12,5% como porcentaje de reemplazo del cemento, a los 90 días, logran superar la resistencia requerida con un desarrollo del 100,9% y 101,4% respectivamente.

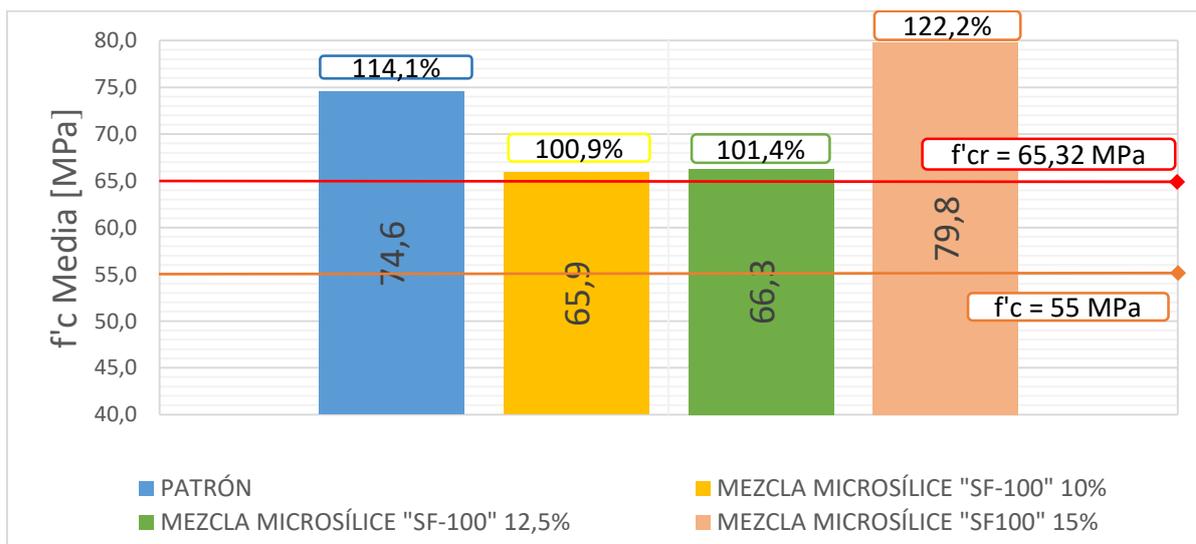


Figura 32. Resistencia a la rotura de mezclas patrón y mezclas con microsílíce "SF-100" (90 días).

Elaborado por: (Díaz & Terán)

En la figura 33 podemos observar que la resistencia de la mezcla patrón se desarrolla sin inconvenientes, alcanzando a los 90 días una resistencia de 74,6MPa, sin embargo, las mezclas que contienen microsílíce “FUNDIRECICLAR” como porcentaje de reemplazo del cemento, no logran alcanzar ni incluso la resistencia de diseño, a pesar de ser ensayadas a los 90 días.

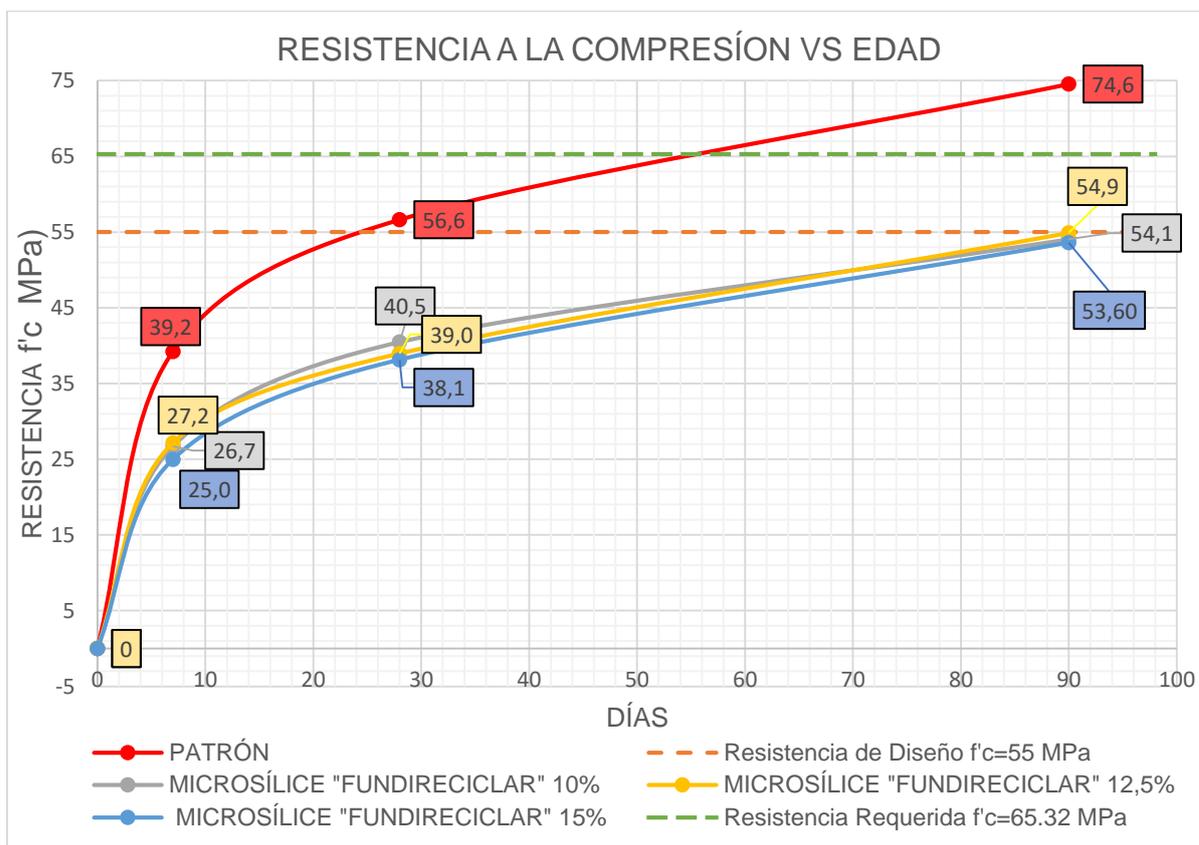


Figura 33. Resistencia f'c media vs porcentajes de “FUNDIRECICLAR”.

Elaborado por: (Díaz & Terán)

La figura 34 muestra todo lo opuesto en cuanto a resistencia en los porcentajes de reemplazo de cemento. Todas las mezclas con adición de microsílíce “SF-100” logran tener resultados favorables, pero la mezcla que sobresale es aquella que contiene un 15% de microsílíce “SF-100”, superando la resistencia de diseño f'c a los 28 días con un esfuerzo de 60,80MPa, también se logra visualizar que a los 56 días ya supera la resistencia requerida f'cr con un valor aproximado de 70MPa. A los 90 días tiene una resistencia media de 79,8MPa.

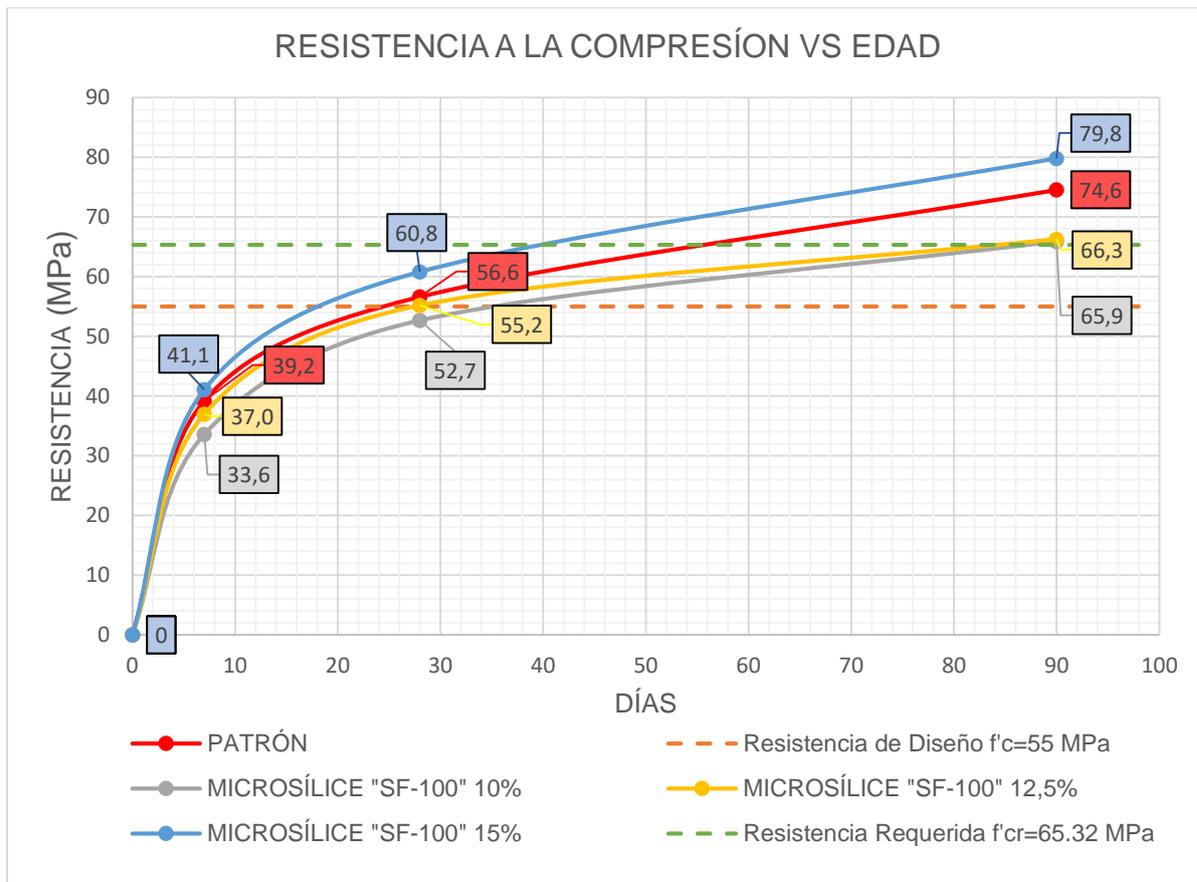


Figura 34. Resistencia $f'c$ media vs porcentajes de "SF-100"

Elaborado por: (Díaz & Terán)

5.1.3 MÓDULO DE ELASTICIDAD

A continuación, se muestra el resumen de resultados de módulo de elasticidad de las muestras ensayadas a los 90 días:

Tabla 81.

Módulo de elasticidad de mezcla patrón y mezclas con % de microsíllice.

MEZCLA	PATRÓN	FUNDIRECICLAR	SF-100
% MICROSÍLICE	-	12,5	15
MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	33007	26771	36297
$1.15 * \sqrt[3]{Ea} * \sqrt{f'c}$	29871,49	25625,58	30895,05
% DESARROLLO	100,00	81,11	109,97

Elaborado por: (Díaz & Terán)

Como se puede visualizar en la figura 35, el módulo de elasticidad tiene un comportamiento similar al de la resistencia a la compresión. A medida que se añade el porcentaje de microsílíce “FUNDIRECICLAR”, el módulo de elasticidad se ve afectado de forma negativa con un valor de 26771MPa con respecto al valor de módulo de elasticidad correspondiente a la mezcla patrón (33007MPa). De igual manera cuando se agrega microsílíce “SF-100” a la mezcla como porcentaje de reemplazo del cemento, el módulo de elasticidad supera con un valor de 36297MPa al módulo de la mezcla patrón. Con respecto al módulo de elasticidad obtenido de la fórmula de la norma INEN-NEC-SE-HM 26-4, se puede observar que los valores obtenidos en la práctica de son similares.

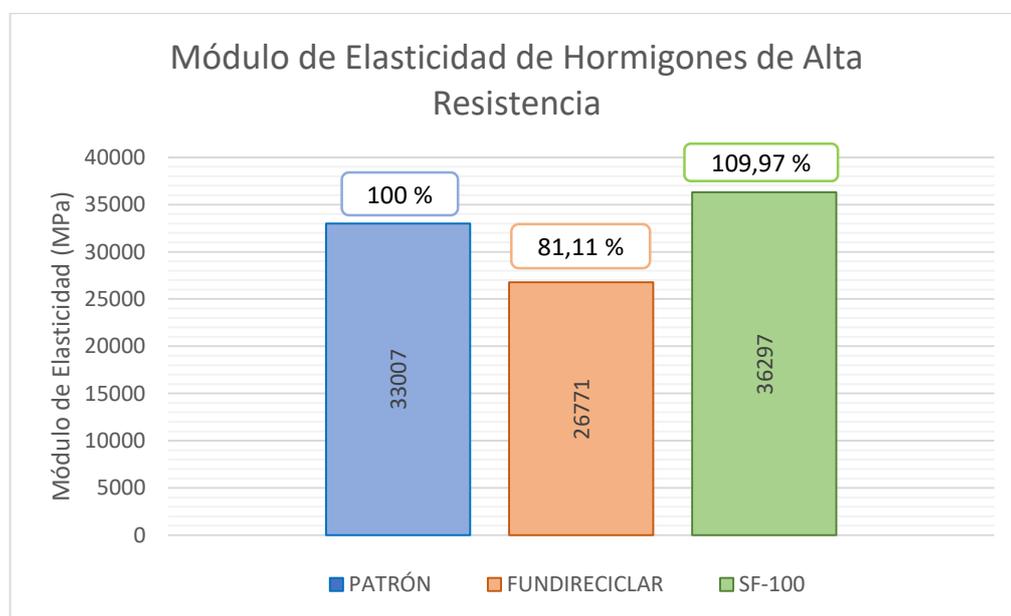


Figura 35. Módulo de elasticidad de diferentes mezclas y % de desarrollo

Elaborado por: (Díaz & Terán)

5.2 SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

No existe duda al seleccionar como mejor alternativa a la dosificación que contiene microsílíce “SF-100” al 15% como porcentaje de reemplazo del cemento y aditivo plastificante con 3,5% del material cementoso, ya que esta dosificación supera sin dificultad la resistencia de diseño a los 28 días de ensayo, a los 56 días ya superó a la resistencia requerida con un valor aproximado de 70MPa, a los 90 días tiene una resistencia media 79,8MPa y no solamente supera a la mezcla patrón, sino a todas sus mezclas compañeras en cuanto a resistencia a todas las edades.

5.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL



TEMA: Diseño y comparación de hormigón de alta resistencia utilizando dos tipos de microsílíce en porcentajes de reemplazo del cemento, agregados de la cantera de Pifo y aditivo plastificante

RUBRO: Mezcla patrón para 1 m³ de hormigón. **UNIDAD:** m³
FECHA: Diciembre

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A. Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Herramienta menor (5% MO)					1.24
Subtotal Materiales					1.24

B. Mano de obra

Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Maestro mayor	1	3.38	3.38	2.00	6.76
Peón	3	3.01	9.03	2.00	18.06
Subtotal Mano de obra					24.82

C. Equipo y maquinaria

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		C	R	D=CXR
Cemento	kg	753.08	0.154	115.97
Ripio	m ³	0.361	17.60	6.36
Arena	m ³	0.145	10.56	1.53
Agua	m ³	0.199	0.72	0.14
Subtotal Equipo y maquinaria				124.00
Total costo directo A+B+C				150.06



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL



TEMA: Diseño y comparación de hormigón de alta resistencia utilizando dos tipos de microsílíce en porcentajes de reemplazo del cemento, agregados de la cantera de Pifo y aditivo plastificante

RUBRO: Mezcla para 1 m³ de hormigón con 15% de microsílíce sf100. **UNIDAD:** m³

FECHA: Diciembre

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A. Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Herramienta menor (5% MO)					1.28
Subtotal Materiales					1.28

B. Mano de obra

Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Maestro mayor	1	3.75	3.75	2.00	7.50
Peón	3	3.00	9.00	2.00	18.00
Subtotal Mano de obra					25.50

C. Equipo y maquinaria

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		C	R	D=CXR
Cemento	kg	640.12	0.154	98.58
Ripio	m ³	0.361	17.60	6.36
Arena	m ³	0.143	10.56	1.51
Agua	m ³	0.198	0.72	0.14
Sikament N100	kg	26.36	6.00	158.15
Microsílíce Sf-100	kg	112.96	2	225.92
Subtotal Equipo y maquinaria				490.65
Total costo directo A+B+C				517.43



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL



TEMA: Diseño y comparación de hormigón de alta resistencia utilizando dos tipos de microsílíce en porcentajes de reemplazo del cemento, agregados de la cantera de Pifo y aditivo plastificante

RUBRO: Mezcla para 1 m³ de hormigón con 12.5% de microsílíce sf100. **UNIDAD:** m³

FECHA: Diciembre

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A. Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Herramienta menor (5% MO)					1.28
Subtotal Materiales					1.28

B. Mano de obra

Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Maestro mayor	1	3.75	3.75	2.00	7.50
Peón	3	3.00	9.00	2.00	18.00
Subtotal Mano de obra					25.50

C. Equipo y maquinaria

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		C	R	D=CXR
Cemento	kg	658.94	0.154	101.48
Ripio	m ³	0.361	17.60	6.36
Arena	m ³	0.145	10.56	1.53
Agua	m ³	0.198	0.72	0.14
Sikament N100	kg	30.12	6.00	180.74
Microsílíce Sf-100	kg	94.13	2	188.27
Subtotal Equipo y maquinaria				478.51
Total costo directo A+B+C				505.29



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL



TEMA: Diseño y comparación de hormigón de alta resistencia utilizando dos tipos de microsílíce en porcentajes de reemplazo del cemento, agregados de la cantera de Pifo y aditivo plastificante

RUBRO: Mezcla para 1 m³ de hormigón con **UNIDAD:** m³

10% de microsílíce sf100. **FECHA:** Diciembre

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A. Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Herramienta menor (5% MO)					1.28
Subtotal Materiales					1.28

B. Mano de obra

Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Maestro mayor	1	3.75	3.75	2.00	7.50
Peón	3	3.00	9.00	2.00	18.00
Subtotal Mano de obra					25.50

C. Equipo y maquinaria

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		C	R	D=CXR
Cemento	kg	677.77	0.154	104.38
Ripio	m ³	0.361	17.60	6.36
Arena	m ³	0.146	10.56	1.55
Agua	m ³	0.198	0.72	0.14
Sikament N100	kg	33.89	6.00	203.33
Microsílíce Sf-100	kg	75.31	2	150.62
Subtotal Equipo y maquinaria				466.37
Total costo directo A+B+C				493.15



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL



TEMA: Diseño y comparación de hormigón de alta resistencia utilizando dos tipos de microsílíce en porcentajes de reemplazo del cemento, agregados de la cantera de Pifo y aditivo plastificante

RUBRO: Mezcla para 1 m³ de hormigón con 15% de M.Fundireciclar. **UNIDAD:** m³
FECHA: Diciembre

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A. Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Herramienta menor (5% MO)					1.28
Subtotal Materiales					1.28

B. Mano de obra

Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Maestro mayor	1	3.75	3.75	2.00	7.50
Peón	3	3.00	9.00	2.00	18.00
Subtotal Mano de obra					25.50

C. Equipo y maquinaria

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		C	R	D=CXR
Cemento	kg	640.115	0.154	98.58
Ripio	m ³	0.370	17.60	6.51
Arena	m ³	0.158	10.56	1.67
Agua	m ³	0.199	0.72	0.14
Sikament N100	kg	11.30	6.00	67.78
M.Fundireciclar	kg	112.962	0	0.00
Subtotal Equipo y maquinaria				174.68
Total costo directo A+B+C				201.46



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL



TEMA: Diseño y comparación de hormigón de alta resistencia utilizando dos tipos de microsílíce en porcentajes de reemplazo del cemento, agregados de la cantera de Pifo y aditivo plastificante

RUBRO: Mezcla para 1 m³ de hormigón con 12.5% de M.Fundireciclar. **UNIDAD:** m³
FECHA: Diciembre

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A. Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Herramienta menor (5% MO)					1.28
Subtotal Materiales					1.28

B. Mano de obra

Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Maestro mayor	1	3.75	3.75	2.00	7.50
Peón	3	3.00	9.00	2.00	18.00
Subtotal Mano de obra					25.50

C. Equipo y maquinaria

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		C	R	D=CXR
Cemento	kg	658.94	0.154	101.48
Ripio	m ³	0.37	17.60	6.51
Arena	m ³	0.157	10.56	1.66
Agua	m ³	0.199	0.72	0.14
Sikament N100	kg	9.04	6.00	54.22
M.Fundireciclar	kg	94.135	0	0.00
Subtotal Equipo y maquinaria				164.01
Total costo directo A+B+C				190.79



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
INGENIERÍA CIVIL



TEMA: Diseño y comparación de hormigón de alta resistencia utilizando dos tipos de microsílíce en porcentajes de reemplazo del cemento, agregados de la cantera de Pifo y aditivo plastificante

RUBRO: Mezcla para 1 m³ de hormigón con 10% de M.Fundireciclar. **UNIDAD:** m³
FECHA: Diciembre

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

A. Equipos

Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Herramienta menor (5% MO)					1.28
Subtotal Materiales					1.28

B. Mano de obra

Descripción	Cantidad	Jornal/HR	Costo hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=AXB	R	D=CXR
Maestro mayor	1	3.75	3.75	2.00	7.50
Peón	3	3.00	9.00	2.00	18.00
Subtotal Mano de obra					25.50

C. Equipo y maquinaria

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
		C	R	D=CXR
Cemento	kg	677.77	0.154	104.38
Ripio	m ³	0.37	17.60	6.51
Arena	m ³	0.156	10.56	1.64
Agua	m ³	0.199	0.72	0.14
Sikament N100	kg	10.54	6.00	63.26
M.Fundireciclar	kg	75.308	0	0.00
Subtotal Equipo y maquinaria				175.93
Total costo directo A+B+C				202.71

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Se realizaron mezclas de prueba de hormigón de alta resistencia teniendo como base una resistencia de diseño de $f'c=55\text{MPa}$, donde se logró obtener un hormigón que supera dicha resistencia a los 28 días de edad con un valor de $60,80\text{MPa}$ y ha sobrepasado la resistencia a la compresión requerida a los 90 días de edad con un valor de $f'cr=79,8\text{MPa}$, siendo esta mezcla la más efectiva.
- Se ha comprobado que los agregados de Pifo y el cemento Holcim tipo GU son componentes apropiados para elaborar un hormigón de alta resistencia, ya que cumplen con los requerimientos de la norma ACI 211.4R-08.
- El uso de aditivos plastificantes es fundamental cuando se trabaja con relación agua-cemento bajas, ya que el hormigón presenta dificultad a la hora de mezclarse o de compactarse. Cuando se combinó el 3,5% de aditivo plastificante "Sikament N-100" en función del material cementante con el hormigón se obtuvo una mejor trabajabilidad, cohesión y consistencia en la mezcla.
- El microsílíce "SF-100" tuvo un efecto positivo en la resistencia a la compresión del hormigón cuando se agregó el 15% como reemplazo del cemento.
- La dosificación en peso de la mezcla más efectiva para elaborar 1 m^3 de hormigón de alta resistencia es la siguiente:

Material	Peso (kg)	Dosificación
Cemento	640,12	1,00
Grueso	939,37	1,25
Fino	362,10	0,48
Agua	198,06	0,26
Microsílíce	112,96	0,15
Plastificante	26,36	0,03

- Cuando se agregó microsilíce y plastificante al hormigón, se pudo visualizar que el hormigón en estado fresco presentó aumento de temperatura, buena cohesión y pérdida de asentamiento, posteriormente, cuando el hormigón fraguó, este presentó menor porosidad y adquirió mayor resistencia.
- La temperatura de la mezcla patrón en estado fresco fue de 15°C mientras que las mezclas que contenían adición de microsilíce y plastificante reflejaron temperaturas que van desde los 17°C hasta los 21°C.
- El asentamiento de la mezcla patrón fue aceptable, mientras que las mezclas que contenían adición de microsilíce presentaban pérdida de asentamiento.

Los detalles de estas propiedades en las mezclas se detallan a continuación:

Mezcla	Patrón	“Fundireciclar” 10%	“Fundireciclar” 12,5%	“Fundireciclar” 15%	“SF-100” 10%	“SF-100” 12,5%	“SF-100” 15%
Asentamiento (cm)	10,0	5,5	4,5	4,5	5,5	6,5	6,0
Temperatura (°C)	15	17	17	18	19	21	21
Cohesión	Muy buena	Buena	Regular	Regular	Buena	Muy buena	Muy buena

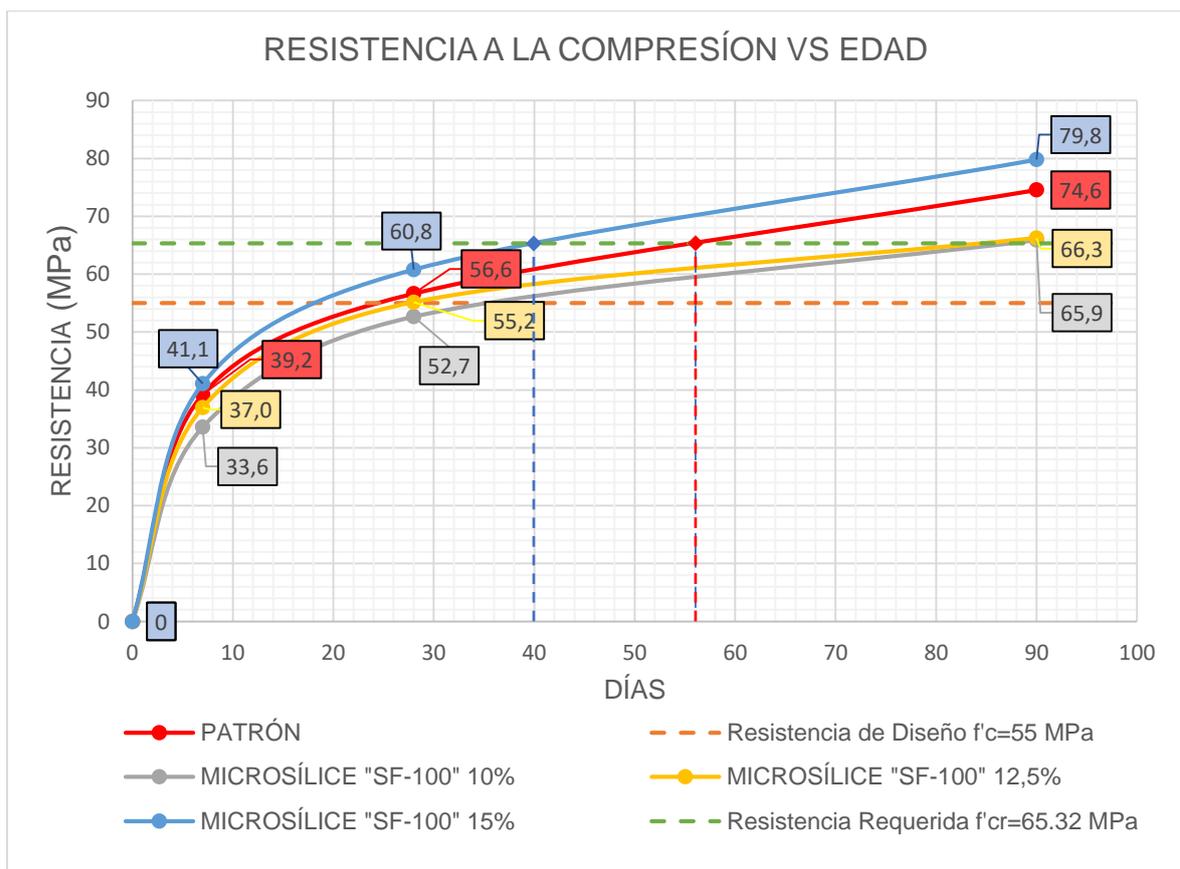
- El método de compactación por varillado no fue adecuado para este tipo de hormigón debido a la estructura de los agregados, por lo que se tomó la decisión de utilizar una plancha vibratoria, siguiendo las recomendaciones de la norma técnica ASTM C192-19, de esta manera se logró compactar y moldear la mezcla.
- La mezcla patrón y las mezclas con microsilíce “SF-100” con porcentajes de 12,5% y 15% como parte del material cementante cumplen con las condiciones de la norma ACI 318.19, que se refiere a:
 - a) El promedio aritmético de 3 ensayos seguidos de resistencia a la compresión sea igual o superior a la resistencia de diseño.
 - b) Ningún resultado de ensayo de resistencia a la compresión es menor que $0,10f_c$ cuando la resistencia de diseño superior a mayor a 35MPa.

Los valores de resistencia a la compresión promedio de todas las mezclas ensayados a la edad de 7, 28 y 90 días se muestran en la siguiente tabla:

Mezcla	Resistencia a la Compresión (MPa)		
	7 Días	28 Días	90 Días
Patrón	39,20	56,63	74,55
10% Microsílice "Fundireciclar"	26,70	40,47	54,05
12,5% Microsílice "Fundireciclar"	27,17	38,97	54,90
15% Microsílice "Fundireciclar"	24,97	38,13	53,60
10% Microsílice "SF-100"	33,57	52,67	65,90
12,5% Microsílice "SF-100"	36,97	55,17	66,27
15% Microsílice "SF-100"	41,07	60,80	79,80

- Se pudo notar con claridad que el microsílice "SF-100" aporta resistencia al hormigón, a diferencia del microsílice denominado "FUNDIRECICLAR" que de hecho restringe el crecimiento en la resistencia del concreto, esto debido a que el microsílice de "FUNDIRECICLAR" no aportaba a la cohesión de la mezcla, mientras que el microsílice "SF-100", formaba más pasta o gel de silicatos de calcio hidratados y de esta manera actuaba como un agente adherente a la matriz de las mezclas.
- El microsílice de "FUNDIRECICLAR" no es tratado luego de la fundición, solamente es recogido, mientras que el microsílice "SF-100", aparte de recibir un apropiado tratamiento durante la fundición de chatarra, cumple con los requerimientos físicos y químicos de la normativa ASTM C1240-20.
- El microsílice "FUNDIRECICLAR" presenta inconvenientes con respecto a su inestabilidad volumétrica, debido a sus componentes como: cal libre, magnesia libre, sulfuros, óxidos de manganeso, óxidos de hierro, etc., que con la reacción del agua y del cemento, estos componentes aumentan de volumen considerablemente, dando a lugar a pérdidas en las propiedades del hormigón.

- El índice de basicidad del microsílíce "FUNDIRECICLAR" fue de 0.03395 y del microsílíce "SF-100" obtuvo el valor de 0.0059, dando como resultado valores menores a la unidad, dando a las muestras un carácter ácido.
- La resistencia requerida se pudo alcanzar en la mezcla patrón y en las mezclas que contenían microsílíce "SF-100". Las mezclas que contienen microsílíce "SF-100" al 10% y 12,5% como porcentaje de reemplazo del cemento adquieren y superan por poco a la edad de 90 días la resistencia requerida con valores de 65,9MPa y 66,3MPa respectivamente, mientras que la mezcla patrón alcanza esta resistencia a los 56 días y la mezcla con 15% de microsílíce "SF-100" obtiene dicha resistencia a los 40 días aproximadamente. A los 90 días ambas mezclas sobrepasan la resistencia requerida como se puede apreciar en la siguiente gráfica:



- El comportamiento del módulo de elasticidad es similar al de la resistencia a la compresión, ya que se ha observado que mientras se agregue microsílíce "SF-100" a la mezcla, esta tendrá valores de módulo superiores a los valores

de las mezclas que contengan microsílíce “FUNDIRECICLAR”, cuyos valores son de 36297MPa y 26771MPa respectivamente, mostrando un desarrollo de 109,97% y 81,11% con respecto al módulo de elasticidad de la mezcla patrón que es de 33007MPa.

- Con respecto al módulo de elasticidad obtenido de la fórmula de la norma INEN-NEC-SE-HM 26-4, se puede observar que los valores obtenidos en la práctica son similares a los teóricos, con valores de 29871,49MPa, 25625,58MPa y 30895,05MPa para la mezcla “Patrón”, “FUNDIRECICLAR 12,5%” y “SF-100 15%” respectivamente con agregados provenientes del sector Pifo-Pichincha.
- El costo de fabricación de 1 metro cúbico de hormigón de alta resistencia sin aditivos es de \$150,06, mientras que el costo de fabricación de 1 metro cúbico de la mezcla de hormigón de alta resistencia más efectiva “SF-100 15%” es de \$517,43, 3,45 veces más costoso que la mezcla sin aditivos.
- Se reconoce que el coste de fabricación de hormigones de alta resistencia es elevado con respecto a los costes de fabricación de los hormigones convencionales, debido a la adición de aditivos químicos y minerales, y también hay aumento en el uso de cemento. Sin embargo, las propiedades que estos aditivos proporcionan al hormigón son bastas y su aprovechamiento en el diseño estructural se vería compensado.
- Los hormigones de alta resistencia, debido a su temprano desarrollo de resistencia a la compresión se los puede utilizar en proyectos estructurales de gran magnitud, si se utiliza este material eficientemente se podrá reducir las secciones de concreto, ahorrando material y tiempo de construcción, a la vez que se pueden lograr edificaciones más seguras y duraderas.
- En cuanto a la parte ambiental, se pueden utilizar ambos tipos de microsílíce como reemplazo del cemento, porque han demostrado que cada uno aporta al hormigón con propiedades físicas y mecánicas, y de esta manera se puede reducir la emisión de gases de producción de materiales como el cemento con el aprovechamiento de estos residuos.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se debe seleccionar cuidadosamente los materiales pétreos, que estos no presenten residuos orgánicos y que cumplan con los tamaños máximos nominales para tener una apropiada mezcla.
- Para tener mejores resultados en los ensayos de las probetas de hormigón de alta resistencia, se estableció lavar a los agregados y eliminar toda sustancia orgánica, ya que el material pétreo es extraído de canteras y puede contener basura existente en la vegetación, y así proceder a realizar las mezclas definitivas.
- Para los ensayos respectivos de los materiales, dejar secar en un horno por 24 horas eliminando toda la humedad y residuos existentes, dejando la suficiente cantidad de material para la elaboración de los ensayos.
- Realizar las mezclas en un periodo de tiempo similar, para evitar la existencia de más variables.
- Tener mucho cuidado al momento de realizar los ensayos de compresión de los cilindros, debido a que son cilindros de hormigón de alta resistencia y al aplicar la carga estos actúan de forma explosiva, y es recomendable cubrir los laterales donde del cilindro y así evitar un accidente a las personas cercanas al ensayo.
- Al realizar los ensayos de módulo de elasticidad, limpiar las probetas y lijar bien la sección donde la probeta sea menos porosa para colocar adecuadamente los Strain Gauges y al momento de ensayar, no se despeguen y así evitar resultados erróneos.
- Para tener un buen curado de los cilindros, revisar el agua que se encuentre en la temperatura adecuada y observar que no se encuentre otros cilindros, ya que se podría interrumpir el proceso de hidratación.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI 211.4R-08. (2008). *Guía para seleccionar proporciones para hormigón de alta resistencia con cemento Portland y otros materiales cementosos.*
- ACI 234R-96. (2000). *Guide for the Use of Silica Fume in Concrete.*
- Alaejos, P., & Fernández, M. (1994). *Selección de materiales para la fabricación de hormigones de alta resistencia.* España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Andrade, K., & Flores, K. (2016). *Propiedades Físico-Mecánicas del Hormigón al Coplementar la Mezcla con el Compuesto del Residuo de Factor de Craqueo Catalítico.*
- ASTM C029/C029M. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.* West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C1157. (2010). *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement.* West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C125. (2021). *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.* West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C127. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.* West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C128. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.* West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C131/C131M. (2020). *Standard Test Method For Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.* West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.

- ASTM C136/C136M. (2019). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C187. (2016). *Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C188. (2017). *Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C191. (2021). *Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C192/C192M-19. (2019). *Práctica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio*.
- ASTM C305. (2014). *Standard practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C33. (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C39. (2020). *Compression Testing Concrete Cylinders*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C40/C40. (2020). *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C566. (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.

- Aullaca, L., & Amen, H. (2009). *Uso de silice en hormigones de alto desempeño*. Tesis, Escuela Politécnica del Litoral, Guayaquil-Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8676/1/D-39840.pdf>
- Barluenga, G. (2008). *Técnica del hormigón y sus aplicaciones*. Universidad de Alcalá,: EUAT.
- BASF. (2006). *RHEOMAC SF100*. Perú: BASF Construction Chemicals Latin America.
- Cachiguano, G. (2014). *Hormigones de Alta Resistencia $f'c = 45$ MPa, Utilizando Agregados del Sector de Ambuqui y Cemento Armaduro Especial - Lafarge*. Quito, Pichincha, Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Cajimela, J., & Morales, R. (2020). *Incidencia del microsilice en el diseño de hormigón de alta resistencia*. Tesis, Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20603/1/T-UCE-0011-ICF-224.pdf>
- Carrión, A. (2014). *Hormigones de Alta Resistencia ($f'c=56$ MPa) Utilizando Agregados del Sector de Pifo y Cemento Armaduro Especial Lafarge*. Quito, Pichincha, Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Castañeda, R., & Montañez, J. (2017). *Obtención del concreto de alta resistencia a la compresión por el método ACI*. Tesis, Universidad Privada de San Pedro, Chimbote-Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/397569861/PI1710131-I-1-pdf>
- CEDEX. (2013). *Escorias de acerías de horno de arco eléctrico*. Obtenido de <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/25/escorias-de-aceria-de-horno-de-arco-electrico/>
- Chiluisa, J. (2014). *Hormigones de alta resistencia ($f'c=50$ MPa) utilizando agregados del sector e pifo y cemento armaduro especial Lafarge*. Tesis, Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador. Obtenido de

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3022/1/T-UCE-0011-140.pdf>

- Chiluisa, J. (2014). *Hormigones de Alta Resistencia ($f'c=50\text{MPa}$) Utilizando Agregados del Sector de Pifo y Cemento Armaduro Especial Lafarge*. Quito, Pichincha, Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Condor, D. (2014). *Hormigón de Alta Resistencia ($f'c=56\text{ MPa}$), Utilizando el Cemento Armaduro Especial de la Línea Lafarge*. Quito, Pichincha, Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRL DEL ECUADOR.
- Domenech, M., & Espinoza, A. (2016). *Determinación de las propiedades físico-mecánicas de los hormigones y morteros utilizando materiales pétreos de las canteras de Pifo y Pomasqui-San Antonio*. Quito.
- Flores, H. (2014). *Hormigones de Alta Resistencia ($f'c = 53\text{MPa}$) Utilizando Agregados del Sector de Pifo y Cemento Armaduro Especial- Lafarge*. Quito, Pichincha, Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Frias, M., & Sanchez, M. (Sepriembre de 2002). *Estudio de la inestabilidad en escorias negras de horno de arco electrico*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/250311495_Estudio_de_la_inestabilidad_en_escorias_negras_de_horno_de_arco_electrico
- Gaspar, D. (1976). *Determinación del contenido de escoris en los cementos siderúrgicos*. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- González Cuevas, Ó. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*.
- Guerra, M. (2020). *Desarrollo de las Propiedades Térmicas de un Material Ligero Aireado a Base de Anhidrita y Escoria de Alto Horno*. Nuevo León, México: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN.
- Hernández, A. (2007). *Materiales de Construcción II* . Catagena.
- Hidalgo, I., & Mora, C. (2016). *Diseño de Hormigón Para Pisos de Uso Residencial, de Alta Resistencia Utilizando Agregados de la Cantera de Pifo, Provincia*

Pichincha. Quito, Pichincha, Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

HOLCIM. (2022). *Cemento Holcim Fuerte Ecoplanet Tipo GU. Ficha Técnica*.
Obtenido de <https://www.holcim.com.ec/cemento-holcim-fuerte>

Huertas, H. (18 de Febrero de 2011). *Capacidad de Absorción*. Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/49092071/capacidad-de-absorcion>

Huincho, E. (2011). *Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento portland tipo I*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/282910546/Concreto-de-Alta-Resistencia-Usando-Aditivo-Superplastificante-Microsilice-y-Nanosilice>

INECYC. (2007). *El manual de Ppepe Hormigon*. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Concreto.

Ingeniería. (2016). *Más que ingeniería*.

Instituto Americano del Concreto. (2019). *ACI 318.19*.

Jácome, R. (2015). *Hormigones de Alta Resistencia ($f'c=62$ MPa) Utilizando Agregados del Sector de Pifo y Cemento Armaduro Especial-Lafarge*. Quito, Pichincha, Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Jami, E., & Narvaez, S. (2021). *Efecto de la Escoria Negra Como Sustitución en Peso al Cemento Convencional en Porcentajes de 2.5%, 5%, 7.5%, 10% y Análisis en el Comportamiento de la Resistencia a la Compresión y Módulo de Elasticidad del Hormigón*. Quito, Pichincha, Ecuador: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

Jiménez Montoya, P., García, Á., & Morán, F. (2000). *Hormigón Armado*.

Luna, G. (2014). *Estudio del hormigón. Guía didáctica para el diseño de mezclas*. Quito: Edicumbre.

Malvern, P. (2022). *Difracción láser*. Obtenido de Distribuciones de tamaño de partícula de nanométricas a milimétricas: <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/light-scattering/laser-diffraction>

Malvern, P. (2022). *Fluorescencia de rayos X*. Obtenido de Espectroscopia de fluorescencia de rayos X y aplicaciones XRF: <https://www.malvernpanalytical.com/es/products/technology/xray-analysis/x-ray-fluorescence>

NTE INEN 0157. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat*.

NTE INEN 0158. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat*.

NTE INEN 1108. (2011). *Agua Potable. Requisitos*.

NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico*.

NTE INEN 2617. (2012). *Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para Mezcla. Requisitos*.

NTE-INEN-SE-HM26-4, C. (2015). *Estructuras de Hormigón Armado*. Quito.

Pauta, D. (2014). *Hormigones de Alta Resistencia ($f'_c=48\text{MPa}$) Utilizando Agregados de Sector de Guayllabamba y Cemento Campeón - Lafarge*. Quito, Pichincha, Ecuador: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

Portugal, P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. Paris: Imprimerie lafayette.

Rivera, M. (25 de Oct de 2013). *Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/179012634/Ensayo-de-Abrasion-Del-Agregado-Grueso>

- Romo, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado Capítulo I Fundamentos del Hormigón Simple*.
- Santamaria, I. (2015). *Fabricación de morteros de albañilería con escoria negra de horno eléctrico de arco EAF y escoria blanca de horno de cuchara LF*. Burgos, España: UNIVERSIDAD DE BURGOS ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR.
- Sika. (Enero de 2020). *Sikament N-100. Superplastificante Reductor de Agua de Alto Poder. Ficha Técnica*. Obtenido de <https://ecu.sika.com/es/construccion/concreto/plastificantes-reductoresdeagua/reductores-de-aguadealtorango/sikament-n-100.html>
- Slave, M. (05 de Abril de 2011). *1 Determinación de la Densidad Aparente*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/52319981/1-Determinacion-de-la-densidad-aparente>
- Valcuende , P., Serrano, M., Empar, J., & Gil, A. (2020). *Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura*.
- Yépez, F. (2016). *Hormigones de ultra alto desempeño: diseño para una alta resistencia a la compresión y a la erosión manteniendo alta trabajabilidad*. Universidad de San Francisco de Quito, Quito. Obtenido de <https://doi.org/10.23878/alternativas.v17i3.230>

ANEXOS

ANEXO 1

Informe del ensayo de abrasión del agregado grueso.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ENSAYO DE ABRASIÓN

INF. No. 22-0053- I
Hoja 01 de 01

Quito, 28 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ; ESTEBAN ALEXANDER TERÁN
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E 11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (F_C=60 MPA)
UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN
DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
TIPO DE MUESTRA: AGREGADO GRUESO
PROCEDENCIA: HOLCIM
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-22
NORMA: ASTM C131

RESULTADOS DEL ENSAYO

MUESTRA:	Agregado grueso
GRADACIÓN:	C
NUMERO DE ESFERAS:	8
PESO INICIAL (g):	5000,0
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 100 REVOLUCIONES (g):	4686,70
PESO RETENIDO EN EL TAMIZ #12 LUEGO DE 500 REVOLUCIONES (g):	3679,50
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 100 rev.(%)	6,27
PORCENTAJE DE PÉRDIDA 500 rev.(%)	26,41
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD:	0,24

ING. MERCEDES VILLACÍS
JRFE DE LABORATORIO



.ABR22-001-I

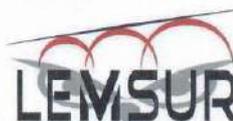
Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 2

Informe de contenido orgánico del agregado fino



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CONTENIDO ORGÁNICO

INF. No. 22 - 0056-I
Hoja 01 de 01

Quito, 26 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: EDISON JAVIER DÍAZ ; ESTEBAN ALEXANDER TERÁN
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E 11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997462638; 0963950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=80 MPa) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: HOLCIM
TIPO DE MUESTRA: AGREGADO FINO
FECHA DE ENSAYO: 2021-12-22
NORMA: INEN 855

ENSAYO DE CONTENIDO ORGÁNICO	
	ESCALA GARDNER
	0 <input checked="" type="checkbox"/>
	1 <input type="checkbox"/>
	2 <input type="checkbox"/>
	3 <input type="checkbox"/>
	4 <input type="checkbox"/>
5 <input type="checkbox"/>	

OBSERVACIÓN: La procedencia de los items de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.

ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 3

Informe de gravedad específica y absorción de los agregados



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN

INF. No. 22 - 0049-I
 Hoja 01 de 01

Quito, 26 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638, 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=60 MPa) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

PROCEDENCIA: HOLCIM PIFO

TIPO DE MUESTRA: INDICADO

FECHA DE ENSAYO: 2021-12-21

NORMA: ASTM C128-15 / ASTM C127-15

RESULTADOS DEL ENSAYO					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD RELATIVA SECA	DENSIDAD RELATIVA S.S.S	DENSIDAD RELATIVA APARENTE	ABSORCIÓN DE AGUA (%)
032-I-1	Agregado fino	2.54	2.62	2.75	2.95
032-I-2	Agregado grueso	2.50	2.65	2.73	1.88

OBSERVACIÓN: La procedencia de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad.

ING. MERCEDES VILLACHS
 JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
 Ext.: 1609

ANEXO 4

Informe de la densidad aparente de los agregados



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0092-I
Hoja 01 de 01

Quito, 11 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=60 MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

PROCEDENCIA: HOLCIM

TIPO DE MUESTRA: INDICADO

FECHA DE ENSAYO: 2022-02-02

NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE AGREGADOS					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MUESTRA SUELTA		MUESTRA COMPACTADA	
		DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
032-I-01	Agregado fino	1650	35	1803	29
032-I-02	Agregado grueso	1333	49	1481	43
032-I-03	Microsilica	779	***	934	***

OBSERVACIÓN: La procedencia de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad. No se realizó el cálculo de contenido de vacíos en el microsilice, ya que no se dispone del dato de gravedad específica.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



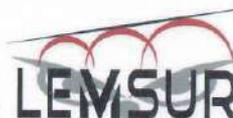
Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 5

Informe de contenido de humedad de los agregados



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS

INF. No. 22 - 0054 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 28 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL: ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (F'c=80 MPa) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: HOLCIM
TIPO DE MUESTRA: INDICADO
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-08
NORMA: ASTM C566

No.	IDENTIFICACIÓN MUESTRA	MASA NATURAL	MASA SECA	CONTENIDO DE HUMEDAD
		(g)	(g)	(%)
1	Agregado grueso	2000	1947.00	2.72
2	Agregado fino	500	488.80	0.24

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Archivo: HumAGR22-005-I.xls

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO 6

Informe del análisis granulométrico del agregado grueso



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0091-I
Hoja 01 de 01

Quito, 11 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL; ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=60 MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIPO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

MUESTRA: AGREGADO GRUESO

PROCEDENCIA: HOLCIM

FECHA DE ENSAYO: 2022-02-10

NORMA: ASTM C136/C136M-14

PESO INICIAL (g)		2000,00	Número de Tamaño		8
TAMIZ	TAMAÑO	PESO	PORCENTAJE	PORCENTAJE RET.	PORCENTAJE
No.	ABERTURA (mm)	RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	ACUMULADO (%)	QUE PASA (%)
1/2"	12,50	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,50	220,5	11,0	11,0	89,0
No. 4	4,75	1316,3	65,8	76,9	23,1
No. 8	2,36	423,4	21,2	98,0	2,0
No. 16	1,18	20,0	1,0	99,0	1,0
Bandeja	-	19,4	1,0	100,0	0,0
TOTAL		1999,6	M. FINURA	5,8	

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia de la muestra son responsabilidad del cliente.



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



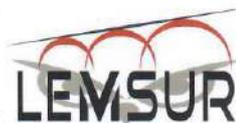
Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 7

Informe del análisis granulométrico del agregado fino



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

INF. No. 22-0048-I
Hoja 01 de 01

Quito, 26 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL; ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482636; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=90 MPa) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSIlice Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

MUESTRA: AGREGADO FINO

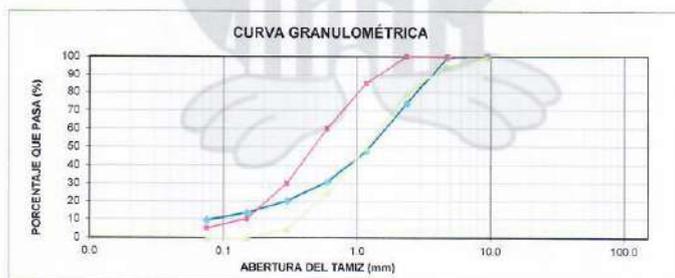
PROCEDENCIA: HOLCIM PIFO

FECHA DE ENSAYO: 2021-12-17

NORMA: ASTM C136M

TAMIZ No.	TAMAÑO ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9.5	0.0	0.0	0.0	100.0
No. 4	4.750	1.2	0.3	0.3	99.7
No. 8	2.360	103.3	25.7	26.0	74.0
No. 16	1.180	104.4	26.0	52.0	48.0
No. 30	0.600	67.9	16.9	69.0	31.0
No. 50	0.300	42.7	10.6	79.8	20.4
No. 100	0.150	26.9	6.7	86.3	13.7
No. 200	0.075	16.8	4.2	90.5	9.5
BANDEJA	-	38.2	9.5	100.0	0.0
TOTAL		401.4			

Observaciones: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



GR-F-22-013-I

Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 8

Informe de la densidad aparente del cemento



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0050 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 26 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL; ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=80 MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSILICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

PROCEDENCIA: HOLCIM PIFO

TIPO DE CEMENTO: GU

FECHA DE ENSAYO: 2022-01-04

NORMA: ***

DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO			
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD SUELTA g/cm ³	DENSIDAD COMPACTADA g/cm ³
M1	Cemento 1	0,901	1,195

OBSERVACIÓN: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.


 ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 9

Informe de la densidad real del cemento



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0052 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 28 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638, 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($F'c=60$ MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIÑO CON ADICIÓN DE MICROSILICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-05
NORMA: ASTM C188

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
MARCA	TIPO DE CEMENTO	FECHA DE FABRICACIÓN
Holcim	GU	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volúmen inicial (cm ³)	Peso Inicial (g)	Volúmen final (cm ³)	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm ³)
M1	0.5	329.3	19.3	383.0	0	2.87
M2	0.2	329.2	19.3	384.1	0	2.87
PROMEDIO						2.87

OBSERVACIONES: Los datos de procedencia son responsabilidad del cliente.

ING MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 10

Informe de la consistencia normal y tiempos de fraguado del cemento



CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPOS DE FRAGUADO

INF. No. 22-0051-I
Hoja 01 de 01

Quito, 28 de enero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL; ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E 11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=60 MPa) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
TIPO: GU
PROCEDENCIA: HOLCIM
FECHA DE ENSAYO: 2022-01-04
NORMA: ASTM C187; ASTM C191

CONDICIONES DEL ENSAYO	
TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
17	53

CONSISTENCIA NORMAL				
MUESTRA	PESO CEMENTO (g)	PESO DEL AGUA (g)	TEMPERATURA DE AGUA DE MEZCLADO (°C)	CONSISTENCIA (%)
Cemento 1	500.0	150.0	20.0	30.0

TIEMPOS DE FRAGUADO		
MUESTRA	*TIFV (min)	**TFV (min)
Cemento 1	228	500

*TIFV: TIEMPO INICIAL DE FRAGUADO VICAT
**TFV: TIEMPO FINAL DE FRAGUADO VICAT

OBSERVACIONES: La consistencia normal corresponde a una penetración de (10 ± 1) mm.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Archivo: TF-22-001-I.xls

Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 11

Informe del análisis de granulometría laser de la escoria negra



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



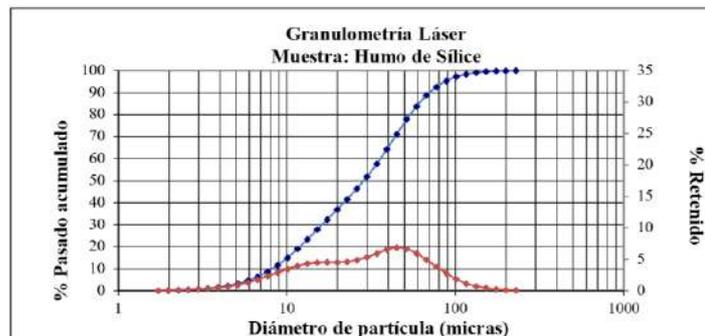
Resultado de Análisis

Solicitante : Sr. Edison Díaz / Sr. Esteban Terán.
No. Referencia : RM – 10270
Fecha : 10 - 03 - 2022
Muestras recibidas : Humo de Sílice.

Resultados Análisis de Granulometría Láser

El análisis de granulometría láser se lo realizó empleando el equipo LASER SCATTERING PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ANALYZER LA-950V2, marca HORIBA. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis.

Humo de Sílice	
Parámetros	Diámetro de Partícula (µm)
d10	8,2
d50	28,6
d60	35,9
d80	54,1
d90	70,6



El análisis se realizó utilizando el índice de refracción para humo de sílice: 1,65.

ERNESTO HALE DE LA TORRE CHAUVIN
 Firmado digitalmente por ERNESTO HALE DE LA TORRE CHAUVIN
 Fecha: 2022.03.11 15:00:22 -05'00'

Ing. Ernesto de la Torre PhD.
Jefe de Departamento



Firmado digitalmente por
EVELYN PAMELA CRIOLLO TIRADO

MSc. Evelyn Criollo
Jefa de Laboratorio

Pasaje Andalucía 134 E12A y Mena Caamaño – Teléfono: (593-2) 3 3938 780 / 2 976 300 – Casilla 17-01-2759
 E-mail: ernesto.delatorre@epn.edu.ec - Quito-Ecuador



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



ANEXO: Tabla de resultados de granulometría láser.

Muestra: Humo de Sílice							
Número	Diámetro de	Retenido	Pasado	Número	Diámetro de	Retenido	Pasado
(#)	Partícula	(%)	Acumulado	(#)	Partícula	(%)	Acumulado
	(μm)		(%)		(μm)		(%)
1	1,7	0,0	0,0	20	22,8	4,6	41,6
2	2,0	0,1	0,1	21	26,1	4,9	46,4
3	2,3	0,2	0,3	22	29,9	5,3	51,8
4	2,6	0,2	0,5	23	34,3	5,9	57,7
5	3,0	0,3	0,8	24	39,2	6,6	64,3
6	3,4	0,4	1,2	25	44,9	6,9	71,2
7	3,9	0,5	1,7	26	51,5	6,7	77,8
8	4,5	0,7	2,3	27	59,0	6,0	83,8
9	5,1	1,0	3,3	28	67,5	4,9	88,7
10	5,9	1,3	4,6	29	77,3	3,8	92,6
11	6,7	1,8	6,4	30	88,6	2,8	95,3
12	7,7	2,3	8,7	31	101,5	1,9	97,2
13	8,8	2,9	11,6	32	116,2	1,2	98,4
14	10,1	3,5	15,1	33	133,1	0,7	99,1
15	11,6	4,0	19,0	34	152,5	0,5	99,5
16	13,2	4,3	23,4	35	174,6	0,2	99,8
17	15,2	4,5	27,8	36	200,0	0,1	99,9
18	17,4	4,5	32,4	37	229,1	0,1	100,0
19	19,9	4,5	36,9	38			

ANEXO 12

Informe del análisis de fluorescencia de rayos X de la escoria negra



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Resultados de Análisis

Solicitante: Sr. Edison Díaz / Sr. Esteban Terán.

Referencia: RM - 10270

Fecha: 02/03/2022

Muestras recibidas: Una muestra sólida denominada:

Muestra 1: Humo de sílice (*Código registrado según cliente*).

Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X

El análisis químico de la muestra se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis:

Elemento	Muestra 1
	Contenido (%)
Si	25,69
Fe	2,71
Na	2,20
S	2,10
Al	1,80
K	1,01
Ca	0,48
Mg	0,45
Zr	0,15
Ti	0,12
Cu	0,10
Ba	0,09
Zn	0,06
Mn	0,04
Pb	0,04
Ni	0,04
Cl	0,03
P	0,03
Cr	0,02

Nota: La muestra fue analizada mediante pastilla prensada, por lo cual los resultados son semi-cuantitativos.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Resultados de Calcificación

La calcificación se la realizó en una mufla marca: SNOL, a la temperatura de 600 grados centígrados durante dos horas. El análisis se lo realiza en la calcina que se detalla a continuación:

Muestras	Valor
Muestra 1	58,4 %

ERNESTO HALE
DE LA TORRE
CHAUVIN

Firmado digitalmente
por ERNESTO HALE DE
LA TORRE CHAUVIN
Fecha: 2022.03.03
17:35:02 -05'00'

Ing. Ernesto de la Torre PhD.
Jefe de Departamento



Firmado digitalmente por:
EVELYN PAMELA
CRIOLLO TIRADO

MSc. Evelyn Criollo
Jefa de Laboratorio

ANEXO 13

Informe del análisis de difracción de rayos X de la escoria negra



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



Resultados Análisis de Difracción de Rayos X

Solicitante : Sr. Edison Díaz / Sr. Esteban Terán.
No. Referencia : RM - 10270
Fecha : 03 - 03 - 2022
Muestras recibidas : Una muestra sólida denominada:
Muestra 1 : Humo de sílice (*Código registrado según cliente*).

La muestra fue calcinada a 600 grados centígrados durante dos horas. El análisis se lo realiza en la calcina obtenida, que se detalla a continuación:

Muestras	Valor
Muestra 1	58,4 %

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en la muestra se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE y el programa Difracc plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semi-cuantificación. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis

Mineral	Fórmula	Muestra 1 Contenido (%)
Cuarzo	SiO ₂	90
Grupo plagioclasas	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si ₂ O ₈	3
Ortoclasa	KAlSi ₃ O ₈	3
Cristobalita	SiO ₂	2
Hematita	Fe ₂ O ₃	2

NOTA: El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización definida. La muestra presenta material amorfo no cuantificado por esta técnica de análisis.

ERNESTO HALE DE LA TORRE
 CHAUVIN

Ing. Ernesto de la Torre PhD.
Jefe de Departamento



Firmado digitalmente por
 EVELYN PAMELA
 CRIOLLO TIRADO

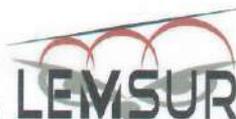
MSc. Evelyn Criollo
Jefa de Laboratorio

ANEXO 14

Informe de la densidad real de la escoria negra



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0450-I
Hoja 02 de 02

Quito, 21 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ; ESTEBAN ALEXANDER TERÁN
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=60 MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

FECHA DE ENSAYO: 2022-09-15

NORMA: ASTM C188

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
MARCA	TIPO DE CEMENTO	FECHA DE FABRICACIÓN
***	ESCORIA NEGRA	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volúmen inicial (cm ³)	Peso Inicial (g)	Volúmen final (cm ³)	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm ³)
1	0.6	329.8	19.4	373.7	0	2.34
2	0.7	330	19.1	373.3	0	2.35
3	0.7	330.4	19.0	373.2	0	2.34
PROMEDIO						2.34

OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de cemento, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los items ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


ING MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

Archivo: DEN_CEM 22-014-L.xls

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO 15

Informe de la densidad aparente de la escoria negra



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD APARENTE

INF. No. 22 - 0092-I
Hoja 01 de 01

Quito, 11 de febrero de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=60 MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSILICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

PROCEDENCIA: HOLCIM

TIPO DE MUESTRA: INDICADO

FECHA DE ENSAYO: 2022-02-02

NORMA: ASTM C29

DENSIDAD APARENTE AGREGADOS					
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	MUESTRA SUELTA		MUESTRA COMPACTADA	
		DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)	DENSIDAD SECA (kg/m ³)	CONTENIDO DE VACÍOS (%)
032-I-01	Agregado fino	1650	35	1803	29
032-I-02	Agregado grueso	1333	49	1481	43
032-I-03	Microsilica	779	***	934	***

OBSERVACIÓN: La procedencia de los ítems de ensayo son proporcionadas por el cliente, lo que involucra su total responsabilidad. No se realizó el cálculo de contenido de vacíos en el microsilice, ya que no se dispone del dato de gravedad específica.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 16

Informe del análisis de granulometría laser del microsílíce SF-100



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



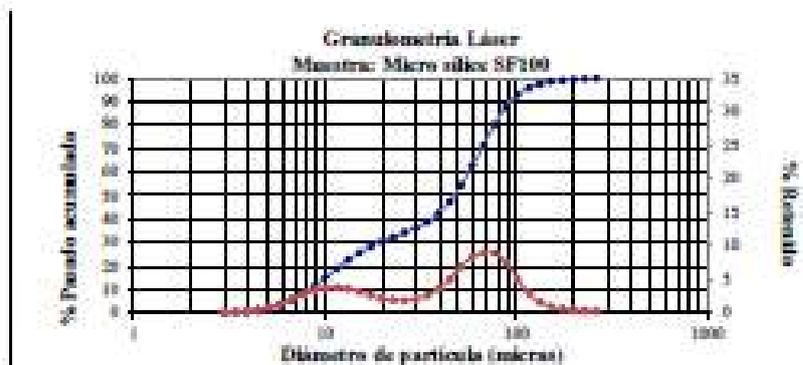
Resultado de Análisis

Solicitante : Sr. Edison Díaz / Sr. Esteban Torres.
 No. Referencia : RM- 10416
 Fecha : 20 - 09 - 2022
 Muestras recibidas : Micro sílice SF100.

Resultados Análisis de Granulometría Láser

El análisis de granulometría láser se lo realizó empleando el equipo LASER SCATTERING PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ANALYZER LA-950V2, marca HORIBA. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis.

Micro sílice SF100	
Parámetros	Diámetro de Partícula (µm)
d10	8,3
d50	42,4
d60	56,6
d80	77,0
d90	93,9



El análisis se realizó utilizando el índice de referencia para Micro sílice: 1,65.



DIANA ENDARA
INGENIERA
DEPARTAMENTO

Ing. Diana Endara PhD
Jefa de Departamento



EVELYN CEVALLOS
CHILLAS TIRADO

MSc. Evelyn Cevallos
Jefa de Laboratorio

Paseo Antofalca 114 E12A y Mesa Comunitaria - Teléfono: (591-2) 3 3808 790 / 2 936 308 - Casilla 13-05-2789
 E-mail: quimica.departamento@epn.edu.ec - Quito-Ecuador



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



ANEXO: Tabla de resultados de granulometría láser.

Muestra: Micro sílice SF100							
Número	Diámetro de	Retenido	Pasado	Número	Diámetro de	Retenido	Pasado
(#)	Partícula	(%)	Acumulado	(#)	Partícula	(%)	Acumulado
	(μm)		(%)		(μm)		(%)
1	3,0	0,0	0,0	18	29,9	2,1	36,2
2	3,4	0,1	0,2	19	34,3	2,6	38,8
3	3,9	0,3	0,4	20	39,2	3,6	42,3
4	4,5	0,5	0,9	21	44,9	5,0	47,3
5	5,1	0,9	1,8	22	51,5	6,8	54,1
6	5,9	1,4	3,2	23	59,0	8,3	62,5
7	6,7	2,1	5,3	24	67,5	8,9	71,4
8	7,7	2,8	8,1	25	77,3	8,9	80,3
9	8,8	3,3	11,4	26	88,6	7,5	87,8
10	10,1	3,7	15,1	27	101,5	5,1	92,9
11	11,6	3,8	18,9	28	116,2	2,9	95,8
12	13,2	3,6	22,5	29	133,1	1,6	97,4
13	15,2	3,1	25,6	30	152,5	1,0	98,4
14	17,4	2,6	28,2	31	174,6	0,6	99,0
15	19,9	2,2	30,4	32	200,0	0,4	99,4
16	22,8	1,9	32,3	33	229,1	0,3	99,7
17	26,1	1,9	34,1	34	262,4	0,3	100,0

ANEXO 17

Informe del análisis de fluorescencia de rayos X del microsílíce SF100



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**

Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X

Solicitante: Sr. Edison Díaz / Sr. Esteban Terán.
Referencia: RM - 10416
Fecha: 20/09/2022
Muestras recibidas: Una muestra sólida denominada:
Muestra 1: Micro sílice SF100 (Código registrado según cliente).

El análisis químico de la muestra se determinó en el equipo de Fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Phass. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis:

Elemento	Muestra 1
	Contenido (%)
Si	47,25
K	0,37
S	0,22
Mg	0,20
Al	0,18
Ca	0,08
Na	0,07
Fe	0,06
P	0,01
Zn	0,01

Nota: La muestra fue analizada mediante pastilla prensada, por lo cual los resultados son semi-cuantitativos.



El Muestro autorizó el documento por:
DIANA ENDARA
DRANI CHENIKOVA

Ing. Diana Endara PhD.
Jefe de Departamento



El Muestro autorizó el documento por:
EVELYN PAMELA
CRIOLLO TIRADO

MSc. Evelyn Criollo
Jefa de Laboratorio

ANEXO 18

Informe del análisis de difracción de rayos X del microsílíce SF-100



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA**



Resultados Análisis de Difracción de Rayos X

Solicitante : Sr. Edison Díaz.
No. Referencia : RM - 10490
Fecha : 21 - 12 - 2022
Muestras recibidas : Dos muestras sólidas denominadas:
Muestra 1 : Microsilice fundida (*Código registrado según cliente*).
Muestra 2 : Microsilice SF 100 (*Código registrado según cliente*).

La determinación de los compuestos con cristalización definida presentes en las muestras se realizó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE y el programa Diffrac plus (EVA Y TOPAS) para cualificación y semi-cuantificación. La muestra 2 por sus características altamente amorfas no es posible identificar ni cuantificar fases mineralógicas. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis y se anexa el difractograma de la muestra 2.

Mineral	Fórmula	Muestra 1 Contenido (%)
Cuarzo	SiO ₂	99
Grupo plagioclasas	(Na,Ca)Al(Si,Al)Si ₂ O ₈	1

NOTA: El límite de detección del equipo empleado es del 1% para compuestos con cristalización de finida. La muestra presenta material amorfo no cuantificado por esta técnica de análisis.



Identificación por:
DIANA ENDARA
IRANICHENKOVA

Ing. Diana Endara PhD.
 Jefa de Departamento



Identificación por:
EVELYN PAMELA
CRIOLO TIRADO

MSc. Evelyn Criollo
 Jefa de Laboratorio

ANEXO 19

Informe de la densidad real del microsílíce SF-100



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

INF. No. 22 - 0450-I
Hoja 01 de 02

Quito, 21 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ; ESTEBAN ALEXANDER TERÁN
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 09833950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=60 MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSILICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

FECHA DE ENSAYO: 2022-09-15

NORMA: ASTM C188

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA		
MARCA	TIPO DE CEMENTO	FECHA DE FABRICACIÓN
***	MICROSILICE SF-100	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
MUESTRA	Volúmen Inicial (cm ³)	Peso Inicial (g)	Volúmen final (cm ³)	Peso final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm ³)
1	0.5	330.3	19.7	372.2	0	2.18
2	0.6	331.1	19.8	373.3	0	2.20
3	0.6	331.2	19.6	372.7	0	2.18
PROMEDIO						2.19

OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de cemento, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Archivo: DEN.CEM 22-014-L.xls

Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 **Email:** lemsur@epn.edu.ec

ANEXO 20

Informe de la densidad aparente del microsílíce SF-100



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO

INF. No. 22 - 0451 - I
Hoja 01 de 01

Quito, 21 de septiembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: EDISON JAVIER DÍAZ, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638; 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (F'C=60 MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSIÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
PROCEDENCIA: ***
TIPO DE CEMENTO: MICROSIÍLICE SF-100
FECHA DE ENSAYO: 2022-09-14
NORMA: ***

DENSIDAD APARENTE DE CEMENTO			
IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	DENSIDAD SUELTA g/cm ³	DENSIDAD COMPACTADA g/cm ³
21-032-I-1	SF-100	0.726	0.811

OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de cemento, involucra su total responsabilidad.

Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones en las que se recibieron.

El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.


ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



DENS. APAR-22-013-I

Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 21

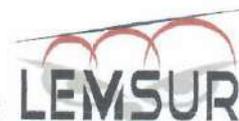
Informe de compresión de cilindros a la edad de 7 días

Cilindros patrón

Cilindros Microsílice SF-100 al 10%, 12.5% y 15%



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Nº: No. 22 - 24594
 Hoja 01 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
 Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
 Teléfono: 0997462838, 0983860135

Quito, 11 de octubre de 2022.

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=80 MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIPO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***
 Contratista: ***
 Fiscalizador: ***

ELEMENTO: ***

NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO * ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	± U (MPa)
1	Patrón Z1	2022-09-06	2022-09-13	7	161.25	8052	2330	264.2	TIPO 2	A	37.3	0.13
2	Patrón Z2	2022-09-06	2022-09-13	7	162.25	8211	2340	314.9	TIPO 2	A	38.4	0.13
3	Patrón Z3	2022-09-06	2022-09-13	7	161.75	8131	2340	255.4	TIPO 2	A	41.3	0.14
4	Microsilice SF-100 12.5% V1	2022-09-06	2022-09-13	7	162.00	8171	2250	333.5	TIPO 2	A	40.8	0.13
5	Microsilice SF-100 15% V2	2022-09-06	2022-09-13	7	161.25	8052	2260	326.9	TIPO 2	A	41.9	0.14
6	Microsilice SF-100 12.5% V3	2022-09-06	2022-09-13	7	162.50	8252	2280	324.9	TIPO 2	A	40.5	0.13
7	Microsilice SF-100 12.5% V1	2022-09-07	2022-09-14	7	162.25	8211	2280	309.6	TIPO 2	A	36.9	0.13
8	Microsilice SF-100 12.5% V2	2022-09-07	2022-09-14	7	161.00	8012	2280	302.6	TIPO 2	A	36.5	0.13
9	Microsilice SF-100 12.5% V3	2022-09-07	2022-09-14	7	161.50	8091	2270	305.4	TIPO 2	A	37.9	0.13
10	Microsilice SF-100 15% V1	2022-09-07	2022-09-14	7	162.00	8171	2250	299.0	TIPO 2	A	32.4	0.13
11	Microsilice SF-100 15% V2	2022-09-07	2022-09-14	7	162.00	8171	2280	276.1	TIPO 2	A	33.9	0.13
12	Microsilice SF-100 15% V3	2022-09-07	2022-09-14	7	162.75	8282	2270	286.7	TIPO 2	A	34.5	0.13



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO; B = SEGREGADO; C = POROSIDAD; D = FISURAS PREEXISTENTES; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se recibieron. U representa la incertidumbre asociada de los resultados. El tipo de fallo y defectos corresponden a lo especificado en la norma ASTM C39. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización de LEMSUR.

[Firma]
 MRS. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
 Ext.: 1609

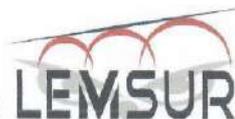
ANEXO 22

Informe de compresión de cilindros a la edad de 7 días

Cilindros Escoria negra al 10%, 12.5% y 15%



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 04534
Hoja 02 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER OÍAZ VILLARREAL; ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997462638; 0985992135

Quito, 11 de octubre de 2022

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=80 MPa) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

ELEMENTO: ***

NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	± U (MPa)
1	Microsilice Fundrededor 12% R1	2022-09-08	2022-09-15	7	101.75	8131	2300	202.7	TIPO 2	A	24.7	0.11
2	Microsilice Fundrededor 15% R2	2022-09-08	2022-09-15	7	103.80	8332	2320	200.7	TIPO 2	A	24.1	0.11
3	Microsilice Fundrededor 15% R3	2022-09-08	2022-09-15	7	101.75	8131	2300	213.3	TIPO 2	A	28.2	0.11
4	Microsilice Fundrededor 12.5% P1	2022-09-08	2022-09-15	7	100.75	7972	2250	217.9	TIPO 2	A	27.3	0.11
5	Microsilice Fundrededor 12.25% P2	2022-09-08	2022-09-15	7	101.80	8012	2240	216.7	TIPO 2	A	27.4	0.11
6	Microsilice Fundrededor 12.5% P3	2022-09-08	2022-09-15	7	101.75	8131	2280	217.5	TIPO 2	A	26.0	0.11
7	Microsilice Fundrededor 10% Q1	2022-09-08	2022-09-15	7	101.75	8131	2240	217.9	TIPO 2	A	26.8	0.11
8	Microsilice Fundrededor 10% Q2	2022-09-08	2022-09-15	7	102.25	8211	2250	218.7	TIPO 2	A	26.8	0.11
9	Microsilice Fundrededor 10% Q3	2022-09-08	2022-09-15	7	102.25	8211	2240	220.2	TIPO 2	A	26.6	0.11



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO; B = SEGREGADO; C = POROSIDAD; D = FISURAS PREEXISTENTES; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se recibieron. U representa la incertidumbre esperada de los resultados.

El tipo de falla y defectos corresponden a lo especificado en la norma ASTM C39. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente, sin la autorización de LEMSUR.

[Firma]
ING. WENDEL VILLALBA
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 23

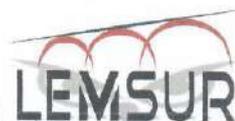
Informe de compresión de cilindros a la edad de 28 días

Cilindros patrón

Cilindros Microsílice SF-100 al 10%, 12.5% y 15%



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 04534
Hoja 03 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 099462838, 098950135

Guía, 11 de octubre de 2022

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (F_c=60 MPa) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSIlice Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***

Contratista: ***

Fiscalizador: ***

ELEMENTO: ***

NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MAX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	± U (MPa)
1	Patrón 24	2022-09-06	2022-10-04	28	102.00	8171	2350	472.9	TIPO 2	A	97.8	0.23
2	Patrón 25	2022-09-06	2022-10-04	28	101.50	8091	2260	454.5	TIPO 2	A	58.1	0.23
3	Patrón 26	2022-09-06	2022-10-04	28	102.00	8171	2350	456.0	TIPO 2	A	90.0	0.23
4	Microsilice SF-100 15% V4	2022-09-06	2022-10-04	28	101.75	8131	2290	485.2	TIPO 2	A	56.6	0.24
5	Microsilice SF-100 12% V3	2022-09-06	2022-10-04	28	101.50	8091	2210	504.5	TIPO 3	A	82.5	0.21
6	Microsilice SF-100 15% V5	2022-09-06	2022-10-04	28	102.75	8262	2300	500.9	TIPO 3	A	80.3	0.23
7	Microsilice SF-100 12.8% V4	2022-09-07	2022-10-05	28	101.00	8012	2260	440.2	TIPO 2	A	54.8	0.18
8	Microsilice SF-100 12.5% V5	2022-09-07	2022-10-05	28	102.00	8171	2320	488.7	TIPO 3	A	87.5	0.23
9	Microsilice SF-100 12.5% V6	2022-09-07	2022-10-05	28	101.25	8052	2320	428.1	TIPO 2	A	53.1	0.18
10	Microsilice SF-100 16% V4	2022-09-07	2022-10-05	28	101.50	8091	2210	430.6	TIPO 3	A	53.2	0.18
11	Microsilice SF-100 16% V5	2022-09-07	2022-10-05	28	101.00	8012	2320	414.3	TIPO 3	A	51.8	0.18
12	Microsilice SF-100 16% V6	2022-09-07	2022-10-05	28	102.00	8171	2290	432.8	TIPO 2	A	53.0	0.18



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO; B = SEGREGADO; C = POROSIDAD; D = FIGURAS PREEXISTENTES; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados en las condiciones en que se recibieron. U representa la incertidumbre expandida de los resultados. El tipo de falla y defectos corresponden a lo especificado en la norma ASTM C39. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

(Signature)
ING. MERCEDES VILLACIS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

ANEXO 24

Informe de compresión de cilindros a la edad de 28 días

Cilindros Escoria negra al 10%, 12.5% y 15%



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0453-I
 Hoja 04 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDGÓN JAVIER DÍAZ VILLARREAL, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: (09) 7462836, 0983950195

Quito, 11 de octubre de 2022

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA (FC=60 MPa) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIÑO CON ADICIÓN DE MICROSIlice Y ADITIVO PLASTIFICANTE
Contratante: ***
Contratista: ***
Finalizador: ***
ELEMENTO: ***
NORMA: ASTM C39

No.	IDENTIFICACIÓN	FECHA FABRICACIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA (mm ²)	PESO * ESPECÍFICO (kg/m ³)	CARGA MÁX. (kN)	TIPO DE FALLA	DEFECTOS	RESISTENCIA	
											(MPa)	± U (MPa)
1	Microsilice Fundreciclar 10% R4	2022-09-08	2022-10-08	28	102,00	8171	2310	315,2	TIPO 2	A	39,0	0,13
2	Microsilice Fundreciclar 10% R5	2022-09-08	2022-10-08	28	101,75	8131	2320	326,7	TIPO 2	A	40,2	0,13
3	Microsilice Fundreciclar 10% R6	2022-09-08	2022-10-08	28	101,25	8092	2300	292,8	TIPO 2	A	35,2	0,13
4	Microsilice Fundreciclar 12,5% P4	2022-09-08	2022-10-08	28	101,00	8012	2280	308,2	TIPO 2	A	38,6	0,13
5	Microsilice Fundreciclar 12,5% P5	2022-09-08	2022-10-08	28	102,00	8171	2280	301,6	TIPO 2	A	36,9	0,13
6	Microsilice Fundreciclar 12,5% P6	2022-09-08	2022-10-08	28	100,75	7972	2280	330,1	TIPO 3	A	41,4	0,14
7	Microsilice Fundreciclar 10% Q4	2022-09-08	2022-10-08	28	102,00	8171	2310	341,9	TIPO 2	A	41,9	0,14
8	Microsilice Fundreciclar 10% Q5	2022-09-08	2022-10-08	28	101,25	8052	2280	323,6	TIPO 3	A	40,2	0,14
9	Microsilice Fundreciclar 10% Q6	2022-09-08	2022-10-08	28	100,75	7972	2290	314,1	TIPO 3	A	38,3	0,14



DESCRIPCIÓN DE DEFECTOS: A = NINGUNO; B = SEGREGADO; C = POROSIDAD; D = FISURAS PREEXISTENTES; E = OTRA

OBSERVACIONES: Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los tests ensayados en las condiciones en que se recibieron. U representa la incertidumbre expandida de los resultados.

El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C29. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni pararse ni utilizarse sin la autorización del LEMSUR.

(Firma)
ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
 Ext.: 1609

ANEXO 25

Informe de compresión de cilindros a la edad de 90 días

Cilindros patrón

Cilindros Microsílice SF-100 al 10%, 12.5% y 15%

Cilindros Escoria negra al 10%, 12.5% y 15%



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENSAYO DE MATERIALES Y MODELOS

TELEFAX: 2-622-855 CASILLA: 17-03-1650

Quito

Activar Windo
ve a configuración

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN REALIZADOS SOBRE
 CILINDROS DE HORMIGÓN
 MÉTODO NTE INEN 1573:2010 1R (ASTM C 39)**

INFORME: 16029

HOJA: 1 DE 1

DATOS INFORMATIVOS:			
OBRA:	SOLICITADO POR:	FECHAS:	
		RECEPCIÓN	INFORME
DISEÑO Y COMPARACIÓN DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO DOS TIPOS DE MICROSÍLICE EN PORCENTAJES DE REEMPLAZO DEL CEMENTO, AGREGADOS DE LA CANTERA DE PÍFO Y ADITIVO PLASTIFICANTE	SR. EDISON DIAZ SR. ESTEBAN TERÁN	07/12/2022	08/12/2022

DATOS TÉCNICOS Y RESULTADOS:									
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENSAYO	EDAD	LONGITUD PROMEDIO	DIÁMETRO PROMEDIO	SECCIÓN	CARGA MÁXIMA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN
				(días)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(KN)	(MPa)
1	Z - 12	06/09/2022	07/12/2022	92	197	101,25	8052	592,2	73,5
2	Z - 7			92	197	102,00	8171	618,0	75,6
3	Y - 7	06/09/2022	07/12/2022	92	201	101,00	8012	619,2	77,3
4	Y - 11			92	203	101,75	8131	694,7	85,4
5	X - 7	07/09/2022	07/12/2022	91	198	102,75	8292	569,7	68,7
6	X - 9			91	200	101,75	8131	502,0	61,7
7	V - 8	07/09/2022	07/12/2022	91	200	101,25	8052	528,2	65,6
8	V - 10			91	198	102,00	8171	541,2	66,2
9	R - 8	08/09/2022	07/12/2022	90	199	101,25	8052	428,1	53,2
10	R - 10			90	199	101,25	8052	435,2	54,0
11	P - 7	08/09/2022	07/12/2022	90	202	101,00	8012	425,7	53,1
12	P - 8			90	200	101,50	8091	459,1	56,7
13	Q - 7	08/09/2022	07/12/2022	90	201	102,75	8292	429,9	51,8
14	Q - 9			90	202	101,25	8052	453,7	56,3
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

OBSERVACIONES:

- FECHA DE MUESTREO: Proporcionada por el cliente
- MUESTREO: Tomado por el cliente
- REFRENTADO DEL CILINDRO: Realizado con almohadillas de neopreno
- FRACTURA: Tipo 5, según NTE INEN 1573:2010 anexo A, En todos los casos
- 1 MPa = 10.197 Kg/cm²



Desarrollado y validado por:
JORGE ALEJANDRO FRAGA FIGUEROA

ING. JORGE FRAGA MSc.
DIRECTOR DE LABORATORIO (E)

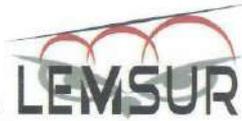
ANEXO 26

Informe de módulo de elasticidad a los 90 días

Cilindro patrón



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0460 - I
Hoja 01 de 03

Quito, 12 de diciembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638, 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'c=60$ MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: ***
MUESTRA: PATRÓN
FECHA DE ENSAYO: 2022-12-08
NORMA: ASTM C469 - 14

CARGA (KN)	DEF. AXIAL ($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)	ESFUERZO (MPa)
0.0	0	0.00
10.0	31	1.25
20.0	96	2.51
30.0	102	3.76
40.0	137	5.01
50.0	175	6.27
75.0	276	9.40
100.0	387	12.53
125.0	460	15.66
150.0	554	18.80
200.0	742	25.06
250.0	947	31.33
0.0	0	0.00
10.0	29	1.25
20.0	64	2.51
30.0	104	3.76
40.0	140	5.01
50.0	179	6.27
75.0	278	9.40
100.0	382	12.53
125.0	478	15.66
150.0	570	18.80
200.0	755	25.06
250.0	952	31.33

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA

DIAMETRO (D) (mm): 100.80
ALTURA (L) (mm): 196
PESO (g): 3751.0
PESO UNITARIO (g/cm^3): 2.40

RESUMEN DE RESULTADOS

ÁREA (mm^2): 7980.15
RELACIÓN L/D: 1.94
Carga máxima (KN): 618.00
Módulo de Elasticidad (MPa): 33007
Resistencia a la compresión (MPa): 77.44



OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y elemento, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



COMC-22-002-1

Tel.: 2976300
Ext.: 1609

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

ANEXO 27

Informe de módulo de elasticidad a los 90 días

Cilindro microsílíce SF-100 al 15%



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0460 - I
Hoja 02 de 03

Quito, 12 de diciembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638, 0983950135

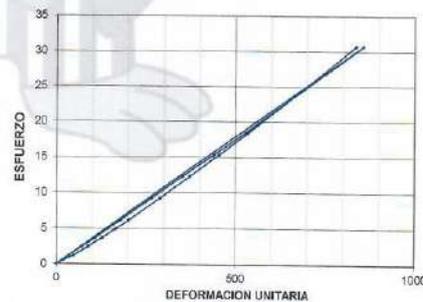
DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'c=60$ MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE
Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: ***
MUESTRA: MICROSÍLICE SF-100
FECHA DE ENSAYO: 2022-12-08
NORMA: ASTM C469 - 14

CARGA (KN)	DEF. AXIAL ($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)	ESFUERZO (MPa)
0.0	0	0.00
10.0	35	1.23
20.0	70	2.46
30.0	109	3.69
40.0	143	4.91
50.0	178	6.14
75.0	266	9.21
100.0	352	12.29
125.0	439	15.36
150.0	527	18.43
200.0	691	24.57
250.0	857	30.72
0.0	0	0.00
10.0	48	1.23
20.0	87	2.46
30.0	128	3.69
40.0	166	4.91
50.0	202	6.14
75.0	289	9.21
100.0	373	12.29
125.0	454	15.36
150.0	535	18.43
200.0	689	24.57
250.0	836	30.72

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
DIAMETRO (D) (mm)	101.80
ALTURA (L) (mm)	196
PESO (g)	3568.6
PESO UNITARIO (g/cm^3)	2.24

RESUMEN DE RESULTADOS	
ÁREA (mm^2)	8139.27
RELACIÓN L/D	1.93
Carga máxima (KN)	694.73
Módulo de Elasticidad (MPa)	36297
Resistencia a la compresión (MPa)	85.36



OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y elemento, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

COMC-22-002-I

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec

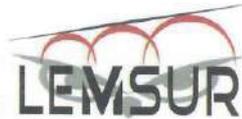
ANEXO 28

Informe de módulo de elasticidad a los 90 días

Cilindros Escoria negra al 12.5%



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



MÓDULO DE ELASTICIDAD EN HORMIGÓN

INF. No. 22 - 0460 - I
Hoja 03 de 03

Quito, 12 de diciembre de 2022

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: EDISON JAVIER DÍAZ VILLARREAL, ESTEBAN ALEXANDER TERÁN ESCOBAR
Dirección: LADRÓN DE GUEVARA E11-253 Y ANDALUCÍA
Teléfono: 0997482638, 0983950135

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: DISEÑO DE HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA ($f'c=60$ MPA) UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA DE PIFO CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y ADITIVO PLASTIFICANTE

Contratante: ***
Contratista: ***
Fiscalizador: ***
ELEMENTO: ***
MUESTRA: ESCORIA NEGRA
FECHA DE ENSAYO: 2022-12-08
NORMA: ASTM C469 - 14

CARGA (KN)	DEF. AXIAL ($\mu\text{m}/\mu\text{m}$)	ESFUERZO (MPa)
0.0	0	0.00
10.0	39	1.23
20.0	86	2.46
30.0	137	3.69
40.0	178	4.91
50.0	225	6.14
75.0	338	9.21
100.0	456	12.29
125.0	568	15.36
150.0	683	18.43
175.0	799	21.50
200.0	922	24.57
0.0	0	0.00
10.0	39	1.23
20.0	86	2.46
30.0	137	3.69
40.0	185	4.91
50.0	236	6.14
75.0	354	9.21
100.0	470	12.29
125.0	582	15.36
150.0	695	18.43
175.0	807	21.50
200.0	921	24.57

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
DIAMETRO (D) (mm)	101.80
ALTURA (L) (mm)	198
PESO (g)	3577.8
PESO UNITARIO (g/cm^3)	2.24

RESUMEN DE RESULTADOS	
ÁREA (mm^2)	8139.27
RELACIÓN L/D	1.93
Carga máxima (KN)	453.65
Módulo de Elasticidad (MPa)	26771
Resistencia a la compresión (MPa)	55.74



OBSERVACIONES: La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra y elemento, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse ni parcial ni totalmente sin la autorización del LEMSUR.

ING MERCEDES VILLACÍS
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300
Ext.: 1609

COMC-22-002-I

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil / Mezanine / Ofic. M15 Email: lemsur@epn.edu.ec