

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS DE
CONCRETO PESADO SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL
AGREGADO FINO POR MINERAL DE HIERRO Y LA INCLUSIÓN DE
ADITIVOS PLASTIFICANTES”**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br:
Fajardo Rodríguez, Gabriel Eduardo
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS DE
CONCRETO PESADO SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL
AGREGADO FINO POR MINERAL DE HIERRO Y LA INCLUSIÓN DE
ADITIVOS PLASTIFICANTES”**

TUTOR ACADÉMICO: Profesor César Peñuela

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br.:
Fajardo Rodríguez, Gabriel Eduardo
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2010

ACTA

El día _____ se reunió el jurado formado por los profesores

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado “**EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO PESADO SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR MINERAL DE HIERRO Y LA INCLUSIÓN DE ADITIVOS PLASTIFICANTES**”. Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que el Bachiller hizo de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Número	Letras
Br. Gabriel E. Fajardo R.		

RECOMENDACIONES:

FIRMAS DEL JURADO

CARACAS, _____ DE _____ DE 2010

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios, por ser siempre mi guía hacia los caminos del éxito y la felicidad.

A mis padres, por su enseñanza y formación a lo largo de mi vida. Mi “mamá bella” quien ha sido la mejor consejera y tutora de mi proyecto de vida. A mi padre, por guiarme en la elección de esta carrera.

A mis hermanos: Guai, Negro y Paco, después de mucho tiempo separados hemos aprendido que somos una gran familia. A mi hermano Eloy, que aunque se encuentre en el cielo, siempre escucha mis oraciones.

A mi novia, por apoyarme en mis decisiones y aconsejarme.

A mis tíos: Gabriel y Teresa, más que unos padres fueron mi mayor apoyo cuando lo necesite. María Gabriela, por apoyarme y ayudarme siempre.

A mi madrina, Juana, quien siempre ha celebrado mis éxitos.

A mi gran colegio, cuya formación integral hizo de mí una persona consecuente y perseverante. Mis amigos y profesores, siempre nos unirá ese gran sentimiento de familia, disciplina y excelencia.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores. El profesor Camacho, por aclarar mis dudas sobre la tesis cada vez que lo necesite; Peñuela por apoyarme en la realización del presente trabajo.

A la negra mojina, Naty. Tu apoyo incondicional a lo largo de la carrera no tiene comparación, gracias por ser mi amiga.

A la familia Torres Del Monte, siempre me sentí parte de ustedes, gracias por hospitalidad y cariño.

A mis compañeros de la universidad: Gaby, Johan, Ricky, Alita, Teresa, Carlos De Sousa, Melissa, La Baby, Jenny, Cecilia, ACE, Molinet, Gary, y demás miembros de este grupo de batalla.

A todos aquellos que en algún momento formaron parte de este logro y que hoy olvide nombrarlos. No se imaginan lo bien que se siente estar escribiendo estas líneas, donde se juntan las emociones, y donde apenas comienza una larga trayectoria.

RESUMEN

Fajardo R., Gabriel E.

“EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO PESADO SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR MINERAL DE HIERRO Y LA INCLUSIÓN DE ADITIVOS PLASTIFICANTES”

Tutor Académico: Prof. César Peñuela.

Trabajo Especial de Grado. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. 2010 (160 páginas)

Palabras clave: mineral de hierro, concreto pesado, aditivo plastificante y superplastificante.

Venezuela es un país donde la mayoría de las obras civiles son construidas con concreto convencional, producto de la combinación de cemento portland, agua, arena como agregado fino, y piedra picada como agregado grueso en diferentes proporciones. Pero a veces, en casos especiales, este tipo de concreto no aporta las características requeridas para el diseño, por lo cual se hace necesaria la sustitución de algún componente de la mezcla o bien, la inclusión de algún aditivo, que mejore las propiedades de la misma. El concreto pesado, no es más que la sustitución del agregado fino por uno más denso, como el hierro, aportando por supuesto mayor masa y densidad.

De esta manera, en esta investigación se pretende evaluar el comportamiento físico y mecánico de mezclas de concreto pesado, con la sustitución parcial del agregado fino por mineral de hierro, y además, el empleo de aditivos plastificante y superplastificante, permitiendo mejorar la trabajabilidad y aumentar la densidad de la mezcla.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
I.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
<i>I.2.1 Objetivo general.....</i>	<i>4</i>
<i>I.2.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
I.3 JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
II.1 EL CONCRETO	6
<i>II.1.1 Componentes del concreto.....</i>	<i>6</i>
II.1.1.1 Agregados	7
II.1.1.2 El cemento.....	8
II.1.1.3 El agua	9
II.1.1.4 Aditivos	10
II.2 CONCRETOS ESPECIALES	13
<i>II.2.1 Concreto pesado.....</i>	<i>13</i>
II.2.1.1 Agregados constituyentes más comunes	13
II.3 DISEÑO DE MEZCLAS.....	15
<i>II.3.1 Fundamentos del método de diseño propuesto</i>	<i>16</i>
II.3.1.1 Relación beta (β).....	16
II.3.1.2 Datos de entrada para el diseño de mezcla	16
II.3.1.3 Ley de Abrams.....	17

II.3.1.4 Relación triangular	17
II.4 CONCRETO FRESCO.....	18
<i>II.4.1 Reología del concreto fresco</i>	18
II.4.1.1 Fluidez.....	19
II.4.1.2 Compactibilidad	19
II.4.1.3 Estabilidad a la segregación.....	19
<i>II.4.2 Cono de Abrams</i>	20
<i>II.4.3 Retracción</i>	21
II.5 CONCRETO ENDURECIDO.....	21
<i>II.5.1 Ensayo de resistencia a compresión</i>	21
II.5.1.1 Rotura de las probetas normativas.....	22
<i>II.5.2 El peso unitario</i>	23
<i>II.5.3 Velocidad del pulso ultrasónico</i>	23
<i>II.5.4 Ensayo esclerométrico</i>	24
<i>II.5.5 Módulo de elasticidad</i>	24
CAPÍTULO III	26
MARCO METODOLÓGICO	26
III.1 MÉTODO.....	26
III.2 METODOLOGÍA	26
<i>III.2.1 Recopilación de información</i>	26
<i>III.2.2 Adquisición de materiales</i>	27
<i>III.2.3 Transporte y almacenamiento de materiales</i>	30
III.3 ANÁLISIS DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES DE LA MEZCLA.....	31
<i>III.3.1 Granulometría</i>	31
III.3.1.1 Agregado fino.....	31
III.3.1.2 Mineral de hierro.....	31
III.3.1.3 Agregado grueso.....	31

<i>III.3.2 Contenido de humedad</i>	32
III.3.2.1 Agregado fino.....	32
III.3.2.2 Agregado grueso.....	33
<i>III.3.3 Peso específico y absorción</i>	33
III.3.3.1 Agregado fino.....	33
III.3.3.2 Agregado grueso.....	35
III.3.3.3 Mineral de hierro.....	36
<i>III.3.4 Peso unitario suelto y compacto</i>	37
III.4 DISEÑO DE MEZCLA.....	37
<i>III.4.1 Resistencia promedio requerida</i>	38
<i>III.4.2 Relación agua/cemento (α)</i>	39
<i>III.4.3 Correcciones de (α)</i>	39
<i>III.4.4 Asentamiento (T)</i>	40
<i>III.4.5 Relación triangular</i>	40
<i>III.4.6 Correcciones del cemento</i>	41
<i>III.4.7 Dosis mínima de cemento por durabilidad</i>	42
<i>III.4.8 Volumen de aire atrapado</i>	43
<i>III.4.9 Peso de agua</i>	43
<i>III.4.10 Relación beta (β)</i>	44
<i>III.4.11 Volumen absoluto de los agregados</i>	44
<i>III.4.12 Dosificación de agregados finos (A) y gruesos (G)</i>	45
<i>III.4.13 Corrección por humedad</i>	45
<i>III.4.14 Sustitución del mineral de hierro como agregado fino</i>	46
<i>III.4.15 Inclusión de aditivos plastificantes</i>	48
III.4.15.1 Aditivo plastificante.....	48
III.4.15.2 Aditivo superplastificante.....	48
<i>III.4.16 Elaboración de mezclas de concreto</i>	48

III.4.16.1 Pesado de materiales.....	49
III.4.16.2 Llenado de la mezcladora.....	49
III.4.16.3 Medición de asentamiento por el Cono de Abrams	50
III.4.16.4 Transporte de la mezcla de concreto.....	51
<i>III.4.17 Elaboración de probetas cilíndricas de concreto</i>	<i>51</i>
<i>III.4.18 Desencofrado de probetas cilíndricas</i>	<i>52</i>
III.5 CONCRETO ENDURECIDO.....	53
<i>III.5.1 Prueba de pulso ultrasónico.....</i>	<i>53</i>
<i>III.5.2 Prueba con el esclerómetro.....</i>	<i>54</i>
<i>III.5.3 Ensayos a compresión.....</i>	<i>55</i>
CAPÍTULO IV.....	59
RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	59
IV.1 GRANULOMETRÍA.....	59
<i>IV.1.1 Agregado fino.....</i>	<i>59</i>
<i>IV.1.2 Mineral de hierro.....</i>	<i>61</i>
<i>IV.1.3 Agregado grueso</i>	<i>62</i>
IV.2 COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS FINOS.....	64
IV.3 CONTENIDO DE HUMEDAD	65
IV.4 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	66
<i>IV.4.1 Agregado fino.....</i>	<i>66</i>
<i>IV.4.2 Mineral de hierro.....</i>	<i>67</i>
<i>IV.4.3 Agregado grueso</i>	<i>68</i>
IV.5 PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTO.....	68
<i>IV.5.1 Agregado fino.....</i>	<i>68</i>
<i>IV.5.2 Agregado grueso</i>	<i>69</i>
IV.6 DISEÑO DE MEZCLA	69

IV.6.1 Corrección por humedad.....	71
IV.6.2 Volumen de sustitución de finos.....	71
IV.6.3 Dosis de aditivos.....	72
IV.6.4 Tipos de mezclas elaboradas.....	72
IV.6.4.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I).....	72
IV.6.4.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II).....	73
IV.6.4.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III).....	74
IV.7 MEDICIÓN DE ASENTAMIENTO (T) POR EL CONO DE ABRAMS.....	76
IV.7.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I).....	76
IV.7.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II).....	78
IV.7.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III).....	78
IV.7.4 Resumen de medición de asentamiento en mezclas.....	79
IV.8 DENSIDAD EN ESTADO FRESCO.....	80
IV.9 DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	81
IV.9.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):.....	81
IV.9.1.1 Edad 7 días.....	81
IV.9.1.2 Edad 14 días.....	82
IV.9.1.3 Edad 28 días.....	82
IV.9.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):.....	84
IV.9.2.1 Edad 7 días.....	84
IV.9.2.2 Edad 14 días.....	85
IV.9.2.3 Edad 28 días.....	85
IV.9.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):.....	87
IV.9.3.1 Edad 7 días.....	87
IV.9.3.2 Edad 14 días.....	88
IV.9.3.3 Edad 28 días.....	88

IV.9.4 Comparación de mezclas Tipo I, II Y III: densidad del concreto en estado endurecido a la edad de 7 días.....	89
IV.9.5 Comparación de mezclas Tipo I, II Y III: densidad del concreto en estado endurecido a la edad de 14 días.....	90
IV.9.6 Comparación de mezclas Tipo I, II Y III: densidad del concreto en estado endurecido a la edad de 28 días.....	91
IV.10 PRUEBA DE ULTRASONIDO	92
IV.10.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):.....	92
IV.10.1.1 Edad 7 días	92
IV.10.1.2 Edad 14 días	92
IV.10.1.3 Edad 28 días	93
IV.10.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):	93
IV.10.2.1 Edad 7 días	93
IV.10.2.2 Edad 14 días	94
IV.10.2.3 Edad 28 días	94
IV.10.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):	95
IV.10.3.1 Edad 7 días	95
IV.10.3.2 Edad 14 días	95
IV.10.3.3 Edad 28 días	96
IV.11 PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO	99
IV.11.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):.....	99
IV.11.1.1 Edad 7 días	99
IV.11.1.2 Edad 14 días	101
IV.11.1.3 Edad 28 días	102
IV.11.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):	104
IV.11.2.1 Edad 7 días	104
IV.11.2.2 Edad 14 días	105
IV.11.2.3 Edad 28 días	107

V.11.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):	108
IV.11.3.1 Edad 7 días	108
IV.11.3.2 Edad 14 días	110
IV.11.3.3 Edad 28 días	111
IV.12 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	113
IV.12.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):	113
IV.12.1.1 Edad 7 días	113
IV.12.1.2 Edad 14 días	113
IV.12.1.3 Edad 28 días	114
IV.12.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):	115
IV.12.2.1 Edad 7 días	115
IV.12.2.2 Edad 14 días	116
IV.12.2.3 Edad 28 días	116
IV.12.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):	118
IV.12.3.1 Edad 7 días	118
IV.12.3.2 Edad 14 días	118
IV.12.3.3 Edad 28 días	119
V.13 MÓDULO DE ELASTICIDAD	122
IV.13.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):	122
IV.13.1.1 Edad 28 días	122
IV.13.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):	123
IV.13.2.1 Edad 28 días	123
IV.13.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):	125
IV.13.3.1 Edad 28 días	125
CAPÍTULO V	127
CONCLUSIONES	127
CAPÍTULO VI	129

RECOMENDACIONES	129
BIBLIOGRAFÍA	130
ANEXOS	132

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1: ANÁLISIS QUÍMICO DEL MINERAL	29
TABLA 3.2: KR FACTOR PARA CORREGIR A POR TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (TM)	39
TABLA 3.3: KA FACTOR PARA CORREGIR A POR TIPO DE AGREGADO	39
TABLA 3.4: C1 FACTOR PARA CORREGIR C POR TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (TM)	41
TABLA 3.5: C2 FACTOR PARA CORREGIR C POR TIPO DE AGREGADO	41
TABLA 3.6: CONTENIDOS MÍNIMOS DE CEMENTO	42
TABLA 3.7: PROBETAS CILÍNDRICAS ELABORADAS PARA EL ESTUDIO	52
TABLA 4.8: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	60
TABLA 4.9:	61
TABLA 4.10: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	63
TABLA 4.11: COMBINACIÓN GRANULOMÉTRICA DE AGREGADOS FINOS	64
TABLA 4.12: CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE CADA UNO DE LOS AGREGADOS ..	65
TABLA 4.13: PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS	66
TABLA 4.14: PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL MINERAL DE HIERRO ..	67
TABLA 4.15: PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS	68
TABLA 4.16: PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTO DEL AGREGADO FINO	68
TABLA 4.17: PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTO DEL AGREGADO GRUESO	69
TABLA 4.18: DISEÑO DE MEZCLA	70
TABLA 4.19: CORRECCIÓN POR HUMEDAD	71
TABLA 4.20: VOLUMEN DE SUSTITUCIÓN DE FINOS	71
TABLA 4.21: CANTIDAD DE DOSIS DE ADITIVOS	72
TABLA 4.22: COMPONENTES DE LA MEZCLA PATRÓN TIPO I	72
TABLA 4.23: COMPONENTES DE LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II	73

TABLA 4.24: COMPONENTES DE LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III.....	75
TABLA 4.25: ASENTAMIENTO MEDIDO PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I.....	76
TABLA 4.26: RESUMEN DE MEDICIÓN DE ASENTAMIENTOS EN MEZCLAS.....	79
TABLA 4.27: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO PARA LOS TRES TIPOS DE MEZCLA.....	80
TABLA 4.28: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 7 DÍAS	81
TABLA 4.29: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 14 DÍAS	82
TABLA 4.30: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 28 DÍAS	82
TABLA 4.31: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 7 DÍAS.....	84
TABLA 4.32: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 14 DÍAS	85
TABLA 4.33: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 28 DÍAS	85
TABLA 4.34: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 7 DÍAS	87
TABLA 4.35: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 14 DÍAS	88
TABLA 4.36: DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO DE LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 28 DÍAS	88
TABLA 4.37: PRUEBA DE ULTRASONIDO PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 7 DÍAS	92
TABLA 4.38: PRUEBA DE ULTRASONIDO PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 14 DÍAS	92
TABLA 4.39: PRUEBA DE ULTRASONIDO PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 28 DÍAS	93

TABLA 4.40: PRUEBA DE ULTRASONIDO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 7 DÍAS.....	93
TABLA 4.41: PRUEBA DE ULTRASONIDO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 14 DÍAS	94
TABLA 4.42: PRUEBA DE ULTRASONIDO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 28 DÍAS.....	94
TABLA 4.43: PRUEBA DE ULTRASONIDO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 7 DÍAS	95
TABLA 4.44: PRUEBA DE ULTRASONIDO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 14 DÍAS	95
TABLA 4.45: PRUEBA DE ULTRASONIDO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 28 DÍAS	96
TABLA 4.46: PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO PARA LA MEZCLA PATÓN TIPO I A LA EDAD DE 7 DÍAS.....	99
TABLA 4.47: PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO PARA LA MEZCLA PATÓN TIPO I A LA EDAD DE 14 DÍAS	101
TABLA 4.48: PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO PARA LA MEZCLA PATÓN TIPO I A LA EDAD DE 28 DÍAS	102
TABLA 4.49: PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 7 DÍAS.....	104
TABLA 4.50: PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 14 DÍAS	105
TABLA 4.51: PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 28 DÍAS	107
TABLA 4.52: PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 7 DÍAS	108
TABLA 4.53: PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 14 DÍAS.....	110
TABLA 4.54: PRUEBA CON EL ESCLERÓMETRO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 28 DÍAS.....	111

TABLA 4.55: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 7 DÍAS.....	113
TABLA 4.56: TABLA 4.57: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 14 DÍAS	113
TABLA 4.58: TABLA 4.59: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 28 DÍAS	114
TABLA 4.60: TABLA 4.61: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 7 DÍAS.....	115
TABLA 4.62: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 14 DÍAS	116
TABLA 4.63: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 28 DÍAS	116
TABLA 4.64: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 7 DÍAS	118
TABLA 4.65: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 14 DÍAS	118
TABLA 4.66: ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 28 DÍAS.....	119
TABLA 4.67: CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA CON MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 28 DÍAS.....	122
TABLA 4.68: DEFORMACIÓN UNITARIA PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 28 DÍAS	122
TABLA 4.69:	123
TABLA 4.70: CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA CON MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 28 DÍAS	123
TABLA 4.71: DEFORMACIÓN UNITARIA PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 28 DÍAS	124
TABLA 4.72:	125
TABLA 4.73: CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA CON MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 28 DÍAS.....	125

TABLA 4.74: DEFORMACIÓN UNITARIA PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 28 DÍAS	125
TABLA 4.75:	126
TABLA 76: CARACTERIZACIÓN DE FALLAS EN MODELOS	132

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 4.1: GRÁFICO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO	60
GRÁFICO 4.2: GRÁFICO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO MINERAL	62
GRÁFICO 4.3: GRÁFICO GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO	63
GRÁFICO 4.4: COMPONENTES DE LA MEZCLA PATRÓN TIPO I.....	73
GRÁFICO 4.5: COMPONENTES DE LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II.	74
GRÁFICO 4.6: COMPONENTES DE LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO III	75
GRÁFICO 4.7: GRÁFICO COMPARATIVO DE LA DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO PARA LOS TRES TIPOS DE MEZCLAS A LA EDAD DE 7 DÍAS.....	80
GRÁFICO 4.8: GRÁFICO COMPARATIVO DE LA DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO ENTRE LOS TRES TIPOS DE MEZCLAS A LA EDAD DE 7 DÍAS	89
GRÁFICO 4.9: GRÁFICO COMPARATIVO DE LA DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO ENTRE LOS TRES TIPOS DE MEZCLAS A LA EDAD DE 14 DÍAS.....	90
GRÁFICO 4.10: GRÁFICO COMPARATIVO DE LA DENSIDAD DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO ENTRE LOS TRES TIPOS DE MEZCLAS A LA EDAD DE 28 DÍAS.....	91
GRÁFICO 4.11: GRÁFICO COMPARATIVO DE LA PRUEBA DE ULTRASONIDO ENTRE LOS TRES TIPOS DE MEZCLAS A LA EDAD DE 7 DÍAS	96
GRÁFICO 4.12: GRÁFICO COMPARATIVO DE LA PRUEBA DE ULTRASONIDO ENTRE LOS TRES TIPOS DE MEZCLAS A LA EDAD DE 14 DÍAS	97
GRÁFICO 4.13: GRÁFICO COMPARATIVO DE LA PRUEBA DE ULTRASONIDO ENTRE LOS TRES TIPOS DE MEZCLAS A LA EDAD DE 28 DÍAS	98
GRÁFICO 4.14: GRÁFICO DE LA RESISTENCIA VS EL ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 7 DÍAS	100
GRÁFICO 4.15: GRÁFICO DE LA RESISTENCIA VS EL ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 14 DÍAS	101
GRÁFICO 4.16: GRÁFICO DE LA RESISTENCIA VS EL ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO PARA LA MEZCLA PATRÓN TIPO I A LA EDAD DE 28 DÍAS	103

GRÁFICO 4.17: GRÁFICO DE LA RESISTENCIA VS EL ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 7 DÍAS.....	104
GRÁFICO 4.18: GRÁFICO DE LA RESISTENCIA VS EL ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 14 DÍAS	106
GRÁFICO 4.19: GRÁFICO DE LA RESISTENCIA VS EL ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II A LA EDAD DE 28 DÍAS	107
GRÁFICO 4.20: GRÁFICO DE LA RESISTENCIA VS EL ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 7 DÍAS	109
GRÁFICO 4.21: GRÁFICO DE LA RESISTENCIA VS EL ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 14 DÍAS.....	110
GRÁFICO 4.22: GRÁFICO DE LA RESISTENCIA VS EL ÍNDICE ESCLEROMÉTRICO PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III A LA EDAD DE 28 DÍAS.....	112
GRÁFICO 4.23: GRÁFICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS LA EDAD DE LA MEZCLA PATRÓN TIPO I.....	114
GRÁFICO 4.24: GRÁFICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS LA EDAD DE LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II.....	117
GRÁFICO 4.25: GRÁFICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS LA EDAD DE LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO III.....	119
GRÁFICO 4.26: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE EL VALOR DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS LA EDAD DE LOS 7 DÍAS PARA LOS TRES TIPOS DE MEZCLA	120
GRÁFICO 4.27: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE EL VALOR DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS LA EDAD DE LOS 14 DÍAS PARA LOS TRES TIPOS DE MEZCLA	121
GRÁFICO 4.28: GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE EL VALOR DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS LA EDAD DE LOS 28 DÍAS PARA LOS TRES TIPOS DE MEZCLA	121
GRÁFICO 4.29: GRÁFICO DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA A LA EDAD DE 28 DÍAS PARA LA MEZCLA PATÓN TIPO I	123
GRÁFICO 4.30: GRÁFICO DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA A LA EDAD DE 28 DÍAS PARA LA MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II.....	124
GRÁFICO 4.31: GRÁFICO DE ESFUERZO VS DEFORMACIÓN UNITARIA A LA EDAD DE 28 DÍAS PARA LA MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III	126

ÍNDICE FOTOGRÁFICO

FOTOGRAFÍA 3.1: CEMENTO PORTLAND TIPO III DE ALTA RESISTENCIA. MARCA CEMEX VENEZUELA	27
FOTOGRAFÍA 3.2: MINERAL DE HIERRO. SIDOR C.A.....	28
FOTOGRAFÍA 3.3: ADITIVO TIPO PLASTIFICANTE. MARCA TECNOCONCRET	28
FOTOGRAFÍA 3.4: ADITIVO TIPO SUPERPLASTIFICANTE. MARCA TECNOCONCRET	28
FOTOGRAFÍA 3.5: TRASLADO DEL MATERIAL	30
FOTOGRAFÍA 3.6: TAMIZADORA MECÁNICA	32
FOTOGRAFÍA 3.7: SECADO DEL MATERIAL SATURADO CON SUPERFICIE SECA.....	33
FOTOGRAFÍA 3.8: PICNÓMETRO CON MUESTRA SATURADA Y SUPERFICIE SECA.....	34
FOTOGRAFÍA 3.9: MUESTRA DEL AGREGADO	37
FOTOGRAFÍA 3.10: ORDEN DE LLENADO DEL TROMPO	50
FOTOGRAFÍA 3.11: VACIADO DE LA MEZCLA EN EL BUGGIE	51
FOTOGRAFÍA 3.12: LLENADO Y ENRASE DE PROBETAS CILÍNDRICAS.....	51
FOTOGRAFÍA 3.13: DESENCOFRADO DE PROBETAS CILÍNDRICAS	52
FOTOGRAFÍA 3.14: PRUEBA DE ULTRASONIDO	53
FOTOGRAFÍA 3.15: PRUEBA DEL ESCLERÓMETRO	55
FOTOGRAFÍA 3.16: NIVELACIÓN DE PROBETAS CON YESO DENTAL.....	56
FOTOGRAFÍA 4.17: LAVADO DEL AGREGADO GRUESO.....	66
FOTOGRAFÍA 4.18: ASENTAMIENTO DE 4 CM CON 4 LITROS ADICIONALES DE AGUA	77
FOTOGRAFÍA 4.19: ASENTAMIENTO DE 10,5 CM CON 8 LITROS ADICIONALES DE AGUA.....	77
FOTOGRAFÍA 4.20: ASENTAMIENTO DE 15,5 CM CON 6 LITROS ADICIONALES DE AGUA.....	78
FOTOGRAFÍA 4.21: ASENTAMIENTO DE 20 CM CON 6 LITROS ADICIONALES DE AGUA.....	79
FOTOGRAFÍA 22: FALLA TIPO 1 EN PROBETA DE MEZCLA PATRÓN TIPO I.....	133
FOTOGRAFÍA 23: FALLA TIPO 2 EN PROBETA DE MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III	133

FOTOGRAFÍA 24: FALLA TIPO 2 EN PROBETA DE MEZCLA PATRÓN TIPO I.....	134
FOTOGRAFÍA 25: FALLA TIPO 3 EN PROBETA DE MEZCLA CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE TIPO II.....	134
FOTOGRAFÍA 26: FALLA TIPO 3 EN PROBETA DE MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III	134
FOTOGRAFÍA 27: FALLA TIPO 4 EN PROBETA DE MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III	135
FOTOGRAFÍA 28: FALLA TIPO 3 EN PROBETA DE MEZCLA CON ADITIVO PLASTIFICANTE TIPO III	135

INTRODUCCIÓN

El concreto, ha sido por mucho tiempo, uno de los materiales más utilizados en la construcción. Este, no es más que una combinación entre pasta y agregados, donde estos últimos constituyentes un porcentaje importante en su composición.

Así mismo, de acuerdo a cada necesidad constructiva, la industria ha diversificado el uso del concreto en diferentes tipos: convencional, liviano, celular, pesado, entre otros. Cada uno de ellos presenta un comportamiento físico y mecánico diferente, donde la densidad pudiera ser uno de los principales factores responsables de este comportamiento.

De esta manera, el concreto pesado se caracteriza por sus altos valores de densidad, la cual puede llegar a ser de hasta más de 6.000 kg/m^3 , para su preparación se utilizan agregados como la barita, la geotita o escorias de acero, llegando a utilizarse en muros "aislantes", o en laboratorios donde a veces existe radiación.

Por tal razón, en el presente Trabajo Especial de Grado se pretende hacer una evaluación de las características de las mezclas de concreto pesado, obtenidas de la sustitución parcial el agregado fino por mineral de hierro, con la inclusión de aditivos plastificantes. A fin de conocer su comportamiento en cuanto a resistencia a compresión, trabajabilidad, módulo de elasticidad, índice esclerométrico y velocidad de pulso ultrasónico.

La investigación está estructurada en capítulos, como se indica a continuación:

Capítulo I se presenta el planteamiento del problema, aportes de la investigación y los objetivos trazados.

Capítulo II se encuentra toda la base teórica, con la que se sustenta la investigación.

Capítulo III, la metodología empleada para el alcance de los objetivos trazados.

Capítulo IV, los resultados obtenidos de la investigación son presentados con su respectivo análisis.

Finalmente, en los Capítulos V y VI se presentan las conclusiones y recomendaciones, que contribuyan al cierre de la investigación y así propiciar sugerencias de acciones a futuras investigaciones sobre este tipo de concretos.

CAPÍTULO I

I.1 Planteamiento del problema

En la industria de la construcción se utilizan diversos tipos de materiales entre los cuales, comúnmente, se encuentran la madera, el acero y el concreto. En muchos casos esta actividad se ve condicionada por diversos factores tanto económicos como de ubicación; este último, referente a la disponibilidad de materiales en la zona donde se planifica construir.

Particularmente, Venezuela es un país donde la mayoría de las obras civiles son construidas con concreto convencional, compuesto por cemento portland, agua, arena (agregado fino) y piedra picada (agregado grueso) en diferentes proporciones, causando como efecto variaciones en sus propiedades mecánicas, como lo son la resistencia, el asentamiento, permeabilidad, trabajabilidad, entre otros. Además de los componentes principales, existen productos adicionales que se pueden agregar a la mezcla con la finalidad de modificar el comportamiento habitual o bien, para mejorar una característica deseada, como lo son los aditivos. Todos estos componentes varían según el diseño de la mezcla requerida en la obra a ejecutar.

En casos especiales, el concreto convencional no aporta las características requeridas para el diseño, por lo cual se hace necesaria la sustitución de algún componente de la mezcla que mejore las propiedades de la misma. El concreto pesado, no es más que la sustitución del agregado fino por uno más denso, como el hierro, aportando por supuesto mayor masa y densidad. En lo que corresponde a la industria nacional, se hace especial uso de la Barita como componente de este tipo de mezclas, siendo cubierta la demanda de dicho mineral por medio de la importación.

Un estudio previo, realizado por (Alayón & Álvarez, 2008) evaluó la viabilidad de la aplicación del mineral de hierro como agregado fino para obtener mezclas de concreto pesado, concluyendo que la misma no alcanzó los valores de densidad esperados, por lo cual el hierro puede no resultar conveniente en la elaboración de este tipo de concretos. Por otro lado, el concreto pesado es empleado en la industria de la construcción como contrapesos, muros de retención para contrarrestar los esfuerzos con su propia masa, o como protectores o aislantes contra la radiación donde se trabaje con energía nuclear.

Debido a la alta densidad de los concretos pesados, que en algunos casos alcanza valores de hasta tres veces mayores a los convencionales, se puede emplear en dichas mezclas ciertos aditivos que ayuden a mejorar su trabajabilidad o fluidez. De lo anterior, se desprende la necesidad de continuar con la línea de investigación de (Alayón & Álvarez, 2008), estudiando la densidad de la mezcla cuando, además del hierro, se utilizan aditivos de tipo plastificante y superplastificante, aspecto que no se tomó en cuenta en el diseño de mezcla.

En consecuencia, en esta investigación se pretende evaluar el comportamiento físico y mecánico de estas mezclas de concreto pesado, con la sustitución parcial del agregado fino por mineral de hierro y el empleo de aditivos plastificante y superplastificante que permitan mejorar la trabajabilidad y aumentar la densidad de la mezcla.

I.2 Objetivos de la investigación

I.2.1 *Objetivo general*

Evaluar las características de la mezcla de concreto pesado sustituyendo parcialmente el agregado fino por mineral de hierro, y además se emplearán aditivos plastificante y superplastificante.

I.2.2 *Objetivos específicos*

- Medir el asentamiento en estado fresco de la mezcla de concreto mediante el método del Cono de Abrams.
- Determinar la densidad del concreto en estado fresco y endurecido para las diferentes muestras.
- Determinar la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas mediante la prueba de ultrasonido.
- Determinar para distintas muestras de concreto los valores de resistencia mediante los ensayos de compresión.
- Determinar el coeficiente esclerométrico de las probetas de concreto utilizando el esclerómetro.
- Determinar el módulo de elasticidad de cada una de las muestras.

I.3 Justificación

En la industria de la construcción, en algunos casos se utiliza concreto pesado cuyas altas densidades son alcanzadas por la implementación de minerales como la Barita y la Caliza como agregado fino.

Por su parte, en Venezuela la demanda de Barita se satisface por medio de importaciones, razón por la cual, la utilización del mineral de hierro en mezclas de concreto pudiera ser favorable debido a la existencia de grandes yacimientos en el país que actualmente están siendo explotados.

Debido a lo expuesto anteriormente, es posible diversificar la producción ferrominera del país con la inclusión del mineral de hierro como materia prima en la industria de la construcción para la fabricación de concretos de alta densidad.

La falta de información teórica sobre el comportamiento de las mezclas de concreto pesado elaborados con mineral de hierro incentiva a realizar un estudio, cuya caracterización permita conocer valores índices que contribuyan a predecir el comportamiento futuro de las diferentes mezclas diseñadas, entre ellos: la resistencia a compresión, la velocidad de propagación de onda en el concreto, y el índice esclerométrico. De esta manera, servirían de aporte para la utilización de este mineral como agregado fino en la fabricación de concretos de altas densidades.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1 El concreto

El concreto ha sido por años el material más utilizado en la industria de la construcción. Según Porrero, Ramos, Velazco, y Grases, en el año 2008, en *el Manual del Concreto Estructural*, califica a este con el nombre de *hormigón*, el cual puede considerarse constituido por una parte pastosa y moldeable, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo, y la otra son trozos pétreos que quedan englobados en esa pasta.

Por su parte, en el año 1998, Neville y Brooks, en su publicación *Tecnología del Concreto*, hace referencia al concreto como un producto o masa conformada por un medio aglutinador. Generalmente, este medio es el producto de la reacción entre cemento hidráulico y agua. Sin embargo, hoy día esta definición abarca una gran variedad de productos; hay concretos hechos con diferentes tipos de cemento: puzolana, ceniza, escoria de alto horno, aditivo mediante una dosificación, sulfuro, polímeros, entre otros.

II.1.1 Componentes del concreto

Los agregados son fragmentos de granos que tienen como finalidad específica abaratar los costos de las mezclas y dotarlas de ciertas características como lo son, la disminución de la retracción del fraguado o retracción plástica. Los agregados constituyen casi el 80% de la masa, lo que hace que su papel sea relativamente importante a la hora de tratar la calidad. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Así mismo, los agregados seleccionados deberán colaborar con características como la trabajabilidad, exigencias del contenido de cemento, adherencia con la pasta y desarrollo de resistencia mecánica. También se busca que su granulometría sea homogénea para favorecer la lubricación y evitar así la segregación.

II.1.1.1 Agregados

La calidad del concreto es afectada directamente por los niveles de calidad que presenten los agregados, si las normativas que establecen estos límites no son respetadas, propiedades como la trabajabilidad y la retracción serían seriamente afectadas o alteradas pudiendo ocasionar defectos en la mezcla elaborada. Para garantizar esta calidad en el agregado deben realizarse ensayos como:

- **Granulometría.** Se entiende por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran. Esta característica es determinante para la obtención de mezclas de concreto de alta calidad.

Para determinar el tamaño de los granos se utiliza el método de ensayo mediante cedazos de aberturas calibradas según la Norma COVENIN 254 “Cedazos de ensayo”, por los cuales se hace pasar el material según pasos descritos en la Norma COVENIN 255 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”.

Según Porrero, Ramos, Velazco, y Grases en su publicación del año 1998 del Manual de Concreto Estructural, la finalidad principal de una granulometría adecuada, es obtener mezclas trabajables y con pocos espacios entre los granos para que se requiera poca pasta.

- **Tamaño máximo.** Se refiere al tamaño de la partícula más gruesa dentro de un agregado, medido como abertura del cedazo de menor tamaño que deja pasar el 95% o más del material. Ensayos realizados muestran que el tamaño de los agregados es una propiedad decisiva para la calidad y economía de ésta.

- **Segregación.** La segregación aparece cuando hay presencia de granos en los agregados muy diferente, esto hace que los agregados se separen y generen concretos de calidad heterogénea y dudosa. Para evitar esto se mezclan los agregados al momento de realizar la mezcla de concreto, y así disminuir los efectos de la segregación. Esto se puede contrarrestar colocando una mayor variedad en los tamaños de granos de los agregados, sub-fracciones de los agregados, lo cual haría que el concreto sea más homogéneo y estable pero esto sería una solución que incrementaría los costos.

II.1.1.2 El cemento

Este componente constituye entre el 10% y el 20% del peso del concreto, y es el componente que al entrar en contacto con el agua, inicia una reacción química, la cual durará varios años según las condiciones ambientales. Esta pasta envolverá los granos formando un coloide alrededor de cada grano (fraguado). Estas áreas coloidales crecen y se funden en una matriz dentro de la cual quedara cemento y agua libre (endurecimiento). La matriz se endurecerá gradualmente convirtiéndose en un gel con inclusiones de cemento y agua libre sin reaccionar. (Neville & Brooks, 1998)

De esta manera, podemos encontrar distintos tipos de cemento:

- **Cemento Tipo I.** Es utilizado en construcciones generales de concreto, tales como: placas, estructuras, muros, pisos, pavimentos, aceras, elementos prefabricados, etc. así como en aplicaciones de albañilería y mampostería, tales como: frisos, pega para bloques y tablillas, sobrepisos, mezclillas, etc. Es el adecuado cuando no se requieran las propiedades especiales correspondientes a los otros tipos. El cemento blanco entra en esta clasificación. (Neville & Brooks, 1998)
- **Cemento Tipo II.** Para usarse en obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos, o donde se requiera un calor de hidratación moderado. Esto se debe al menor contenido de Aluminato tricálcico (C_3AL). El hecho de tener un C_3AL más bajo, garantiza una generación menor de calor de hidratación que un cemento tipo I. Este

cemento puede ser utilizado en construcciones generales pero dadas sus características y al su desarrollo de alta resistencia es muy conveniente para los siguientes casos:

- ✓ Estructuras con requerimientos de alta resistencia mecánica inicial.
 - ✓ En estructuras en donde se necesite retirar el encofrado en pocas horas de haber vaciado el concreto.
 - ✓ En obras con requerimientos de puesta en servicio a temprana edad del concreto, tales como: carreteras, puentes y pontones.
 - ✓ En plantas de elementos prefabricados de concreto, tales como: bloques, tubos, etc; cuya exigencia de producción en serie y pronta entrega de los elementos exigen el uso de un cemento que haga más eficiente los procesos. (Neville & Brooks, 1998)
- **Cemento Tipo III.** Para usarse en construcciones que requieran altas resistencias iniciales. Es un cemento obtenido por la pulverización de clinker Portland especial, el cual consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico con la adición de agua y sulfato de calcio. Es indicado para el uso en construcciones de concreto cuando se requieran altas resistencias iniciales y finales
 - **Cemento Tipo IV.** Para usarse en obras donde sea necesario un bajo calor de hidratación.
 - **Cemento Tipo V.** Para usarse en construcciones que requieran alta resistencia a los sulfatos.
- (Neville & Brooks, 1998)

II.1.1.3 El agua

Es el componente encargado de reaccionar químicamente con el cemento. Ocupa entre el 15% y el 20% del volumen del concreto, y en conjunto con el cemento

es imprescindible para lograr una pasta manejable, capaz de lubricar y soportar los agregados.

Así como se utiliza agua para el mezclado, el agua de curado es necesaria para reponer la humedad perdida por la evaporación luego de la colocación, compactación y alisado del concreto fresco. Esta agua garantiza que las reacciones de hidratación del cemento se desarrollen con normalidad.

En general, el agua utilizada para mezclar y curar, debe estar libre de agentes contaminantes que perjudiquen el fraguado del concreto o que generen una reacción química contraproducente en el estado fresco o endurecido (reacción química con tuberías metálicas o el acero de refuerzo).

II.1.1.4 Aditivos

Son productos químicos que se añaden en pequeña proporción a los componentes principales de los morteros, durante su mezclado, con el propósito de modificar algunas de las propiedades de las mezclas en estado fresco o estado endurecido.

Los aditivos no siempre han sido usados de forma racional. Conviene destacar que tales productos tienen un campo específico de acción y no deben considerarse como una panacea de carácter general. Un mismo aditivo puede actuar de manera cuantitativa de manera muy diferente con mezclas distintas en su diseño o en sus materiales componentes. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Al evaluar la conveniencia o no del uso de un determinado aditivo se debe tomar en cuenta, no sólo las ventajas que se supone reportará su empleo, sino también las precauciones adicionales a respetar durante el proceso. Además del incremento de costo directo que supone la incorporación de un componente adicional, hay que evaluar el costo del control de calidad más cuidadoso que su empleo obliga, pues dosis excesivas de aditivos pueden generar fraguados instantáneos, concreto no endurecido, segregación y exudación excesiva, y

disminución importante de las resistencias, y una dosis insuficiente podría no tener efectos.

La presencia cada vez mayor de productos de alto rendimiento, en particular los llamados aditivos superplastificantes, cuyo efecto tiene limitaciones en el tiempo de duración de su efectividad sobre el concreto fresco, obliga a una cuidadosa planificación de todas las etapas del proceso desde la dosificación de concreto hasta su compactación, acabado y curado.

Las dosis de aditivos se expresan en cantidades proporcionales al peso de cemento y son, según el aditivo, del orden de pocas décimas de por ciento hasta pocas unidades de por ciento (desde 0,1% hasta el 5% del peso de cemento). Su presentación normalmente es en forma líquida para ser incorporado directamente, aunque también existen presentaciones en polvo o en líquidos concentrados para disolución. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Existen distintos tipos de aditivos, los que son modificadores de la reología, que cambian el comportamiento en estado fresco, tal como la consistencia, docilidad, etc, y otros que modifican el fraguado, adelantando o retrasando el fraguado o sus condiciones.

- **Modificadores de la Relación Triangular.** Este grupo comprende los aditivos reductores de agua (tipo A) y los reductores de agua de alto rango (tipo F), y su empleo adecuado permite modificar beneficiosamente esta relación. Estos modifican una o varias de las constantes k , m y n según el efecto que predomine en su acción final, la cual puede clasificarse en: acción plastificante, ahorrador de cemento, reductor de agua o una combinación de cualquiera de ellas.

La acción plastificante cabe destacar, que se pone en manifiesto, cuando al añadir la dosis de aditivo, se obtiene un incremento de moderado a significativo en el asentamiento medido con el Cono de Abrams. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

El efecto plastificante puede ser cuantificado si se calcula un valor ficticio, en la fórmula 7.1 del Manual del Concreto Estructural del año 2.008 se define como:

$$\text{Alfa ficticio} = \text{alfa real} / (1 - \text{efectividad})$$

Ecuación 2.1: Cálculo para el ahorro de cemento
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde la efectividad se expresa en tanto por uno.

- **Plastificantes y Superplastificantes.** Como bien se sabe, la tixotropía es la capacidad del material en su estado fresco, de atiesarse cuando está en reposo y de fluidificarse cuando está en movimiento; es intensificada por la acción de los aditivos reductores de agua con acción plastificante. Están constituidos fundamentalmente por sulfonados de naftalina o melanina. Los mismos, cumplen con los requisitos de la Norma COVENIN 356 para los aditivos Tipo F y Tipo G y ASTM C1017 Tipos I y II. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

En términos generales, un concreto sin aditivos puede mantenerse cohesivo con asentamientos hasta de 12 a 15 cm. Si se trata de aumentar el asentamiento mediante la adición de agua, es casi seguro que la mezcla presente segregación. Por ello, con la adición de aditivos plastificantes, se aumenta la tixotropía sin afectar la cohesividad, pudiendo lograr asentamientos hasta unos 18 cm sin segregación. Esto es posible no sólo en los valores límites sino en cualquier nivel de fluidez. La ventaja del aditivo es que permite obtener los beneficios antes mencionados sin afectar la resistencia mecánica, debido al efecto simultáneo de la reducción del agua. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Los aditivos superplastificantes son particularmente útiles en las siguientes situaciones:

- ✓ Por su facilidad de bombeo y altas resistencias a edades tempranas, para la fabricación elementos de concreto pretensado, concreto a la vista o de obra limpia, sistema túnel, entre otros.
- ✓ Por su mayor resistencia a la abrasión, en pisos industriales.
- ✓ Donde sea conveniente controlar el calor de hidratación y la retracción, así como facilitar la colocación del concreto, como ocurre en concretos masivos y grandes vaciados.

(Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.2 Concretos especiales

II.2.1 Concreto pesado

Es un tipo de concreto que tiene materiales muy masivos como agregados, el concreto normalmente lleva como agregados arena y grava, lo que le da una densidad de unos 2.200 kg/m^3 (2.400 kg/m^3 el concreto armado), en el caso del concreto pesado esta densidad puede llegar a ser de hasta más de 6.000 kg/m^3 , para su preparación se utilizan agregados como la barita, la geotita o escorias de acero, se utiliza en muros "aislantes", se usa bastante en laboratorios o campos de prueba donde a veces existe radiación.

II.2.1.1 Agregados constituyentes más comunes

- **Barita (BaSO_4)**
 - ✓ Material opaco de estructura laminar.
 - ✓ Color ámbar.
 - ✓ Densidad: 4,5.
 - ✓ Dureza: 3 a 3,5.

- ✓ Se emplea en forma de polvo, arena y gravilla de hasta 30 mm de tamaño máximo.
- ✓ Presenta problemas de granulometría.
- ✓ Es el más común de los minerales de bario.
- ✓ La Barita, por lo general, produce concretos de densidad comprendida entre 3,3 y 3,7 kg/dm³.

- **Magnetita ($FE_3 O_4$)**
 - ✓ Es uno de los áridos más empleados junto con la Barita.
 - ✓ Tiene brillo metálico.
 - ✓ El mineral viene mezclado con rocas ígneas y sedimentarias.
 - ✓ Densidad 4,2 a 5,2.
 - ✓ La magnetita da concretos cuya densidad está comprendida entre 3,5 y 4,2 kg/dm³.
 - ✓ La itabira es una variedad de magnetita que procede del Brasil.

- **Limonita ($FeO(OH)$)**
 - ✓ Es un árido parecido a la magnetita.
 - ✓ Densidad: 2,7 a 3,8.

- **Ilmenita ($FETIO_3$)**
 - ✓ Color negro metálico.
 - ✓ Densidad: 4,72.
 - ✓ Dureza 5 a 6.

- **Ferrofósforo ($FE_3 P$; $FE_2 P$; FEP)**
 - ✓ Es un subproducto de la producción del fósforo.
 - ✓ Densidad: 5,72 a 6,3.
 - ✓ Se ha empleado mucho como árido grueso y fino en protecciones dando hormigones de densidad de hasta 5,3 kg/dm³.

- **Hematita (Fe_2O_3)**
 - ✓ Dureza: 5,5 - 6,5.
 - ✓ Densidad: 4,9 - 5,3.
 - ✓ Color: negro, rojo o pardo, según las variedades.
 - ✓ Raya: rojiza o parda.

II.3 Diseño de mezclas

Se conoce como diseño de mezcla al procedimiento mediante el cual se calculan las cantidades que debe haber de todos y cada uno de los componentes que intervienen en una mezcla de concreto para obtener de ese material el comportamiento deseado, tanto durante su estado plástico como después, en estado endurecido. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Las condiciones necesarias de una dosificación apropiada son: economía y manejabilidad en estado fresco, resistencias, aspecto y durabilidad en estado endurecido, también se pueden tomar en consideración el color, peso unitario, textura superficial y otros. Estas cantidades suelen expresarse en kilos por metro cúbico de mezcla, el agua puede expresarse en kilos o litros ya que la relación es 1:1. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.3.1 Fundamentos del método de diseño propuesto

El método considera, dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencias relacionadas a través de las leyes básicas, relación triangular y ley de Abrams y de igual manera toma en cuenta factores como el tamaño máximo y el tipo de agregado mediante factores de corrección.

II.3.1.1 Relación beta (β)

Cuando se trata de dos agregados, fino y grueso, la relación de combinación entre ellos se expresa como el cociente entero entre el peso del fino (arena) y del agregado total, suma del grueso y el fino, se simboliza β y se expresa en tanto por uno o en porcentaje. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

$$\beta = \frac{A}{A + G} \times 100$$

Ecuación 2.2: Relación beta
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde A y G son los pesos de la arena y del agregado grueso respectivamente.

II.3.1.2 Datos de entrada para el diseño de mezcla

- **Tipo de agregado y tipo de cemento.** El tipo de agregado se refiere a si es producido industrialmente, como la piedra picada y la arena triturada o si proviene directamente de la naturaleza, sin tratamientos mecánicos, como los cantos rodados y la arena natural. El tipo de cemento será Portland Tipo I.
- **Resistencia Promedio Requerida.** La resistencia denominada resistencia promedio de mezcla será la resistencia media esperada para el material a ser elaborado (expresado en kg/cm^2).

(Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.3.1.3 Ley de Abrams

Esta ley establece la correspondencia entre la resistencia del concreto y la relación agua/cemento, en peso, que se ha simbolizado como “valor α ”

$$\alpha = a/C$$

Ecuación 2.3: Cálculo de la relación agua/cemento
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

α = relación agua/cemento

a = cantidad de agua en litros o kilogramos fuerza

C = dosis de cemento en kilogramos fuerza

II.3.1.4 Relación triangular

Esta es una expresión que relaciona la trabajabilidad (T) medida como asentamiento en el cono de Abrams (y que puede considerarse como la propiedad de mayor representatividad del concreto en estado fresco) con dos parámetros claves en el diseño de mezcla como lo son la relación agua/cemento (α) y la dosis de cemento (C) y se expresa como:

$$C = \frac{k \times T^n}{\alpha^m}$$

Ecuación 2.4: Relación triangular
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

C= Dosis de cemento en Kgf/m³

α = Relación agua/cemento en peso

T = Asentamiento en el Cono de Abrams (cm)

k, m, n son constantes de la mezcla y de las condiciones en que se elabora.

II.4 Concreto fresco

Se habla de esta característica del concreto desde el momento en que todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el “atiesamiento” de la masa, es decir, el período plástico (Neville & Brooks, 1998).

Según (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008), ese estado de plasticidad tiene una duración diferente por el clima en cada región. En lugares cálidos y secos, el estado fresco dura menos tiempo que en localidades húmedas y frías.

Son muchas las propiedades del concreto fresco que interesan y pueden llegar a ser críticas. No sólo por su relación con el manejo del concreto en ese estado, sino porque pueden servir como señal anticipada de las propiedades que pueda tener el material al endurecer posteriormente. Indicios de algún comportamiento atípico del concreto en ese estado inicial avisa, en muchos casos, que en estado endurecido también puede ser impropia su calidad.

II.4.1 *Reología del concreto fresco*

Bajo el término de *reología del concreto*, Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, en su publicación del año 2008 del Manual de Concreto Estructural, agrupa el conjunto de características de la mezcla fresca que posibilitan su manejo y posterior compactación. Desde el punto de vista físico, estas características dependen de las variaciones de la viscosidad y de la tixotropía de la mezcla a lo largo del tiempo. En la práctica, se define la reología del concreto con base en la fluidez, compatibilidad y estabilidad de la segregación.

II.4.1.1 Fluidez

Describe la calidad de fluido o viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla. En un sentido general la palabra *trabajabilidad* también se emplea con el significado de fluidez. Consistencia es la condición de tieso y se puede considerar el antónimo de fluidez. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.4.1.2 Compactibilidad

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado. Esta es la propiedad que se conoce como tixotropía: atiesamiento en reposo y fluidificación en movimiento siendo la característica que permite la compactibilidad de la mezcla y su adaptación al molde. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.4.1.3 Estabilidad a la segregación

Los componentes del concreto son físicamente heterogéneos: líquido (agua), polvo (cemento y arena), fragmentos de piedra y una pequeña fracción de aire, cuya mezcla tiene la natural tendencia a separarse unos de otros. La separación del agua de los restantes componentes de la mezcla, cuando queda flotando sobre el material recién colocado se conoce como exudación o sangrado, y tiene su propio desarrollo evolutivo. Por otro lado, la tendencia a separarse los granos gruesos del mortero, lo que se conoce como segregación, depende de la viscosidad y la tixotropía, y se relaciona con la cantidad y el tamaño de los granos. En algunos casos existe la indebida tendencia a trabajar con concretos de alta fluidez, que son fáciles de colocar, lo indebido es que para obtenerlos no diseñan mezclas especiales o solicitan concretos premezclados con aditivos sino que simplemente, agregan agua a la mezcla, indiscriminadamente. Eso produce un daño directo a la resistencia mecánica, favorece la aparición de grietas por retracción y le quita defensas al concreto para lograr durabilidad, aparte de que hace a la mezcla propensa a la segregación. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.4.2 Cono de Abrams

El asentamiento medido con este método es un índice bastante práctico, aunque no mide todas las propiedades plásticas de la mezcla, ni las valora con el mismo grado de influencia que ellas realmente tienen en el concreto, brinda una información útil sobretodo en términos comparativos. Además, unido a la facilidad práctica de ejecución del ensayo de Abrams, a la experiencia de su empleo y a la simplicidad de su equipo, hacen que el Cono sea el método más empleado (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Independientemente de estos aspectos, el Cono tiene limitaciones ya que es útil solamente para concretos con agregados pétreos, tamaños máximos menores a 5 cm y con relativa plasticidad, caracterizada por asentamientos entre unos 2 y 17 cm. Otra limitación es su inestabilidad para concretos ásperos o pedregosos. En los concretos normales, la masa del Cono, ya desmoldada, suele quedar de forma más o menos abombada según su asentamiento, simétrica y con la superior casi plana. Las mezclas pedregosas al ser desmoldadas suelen tomar formas del cono con su base superior inclinada o totalmente caída lateralmente, o se desmoronan, según sea su contenido de agua. En cierto modo, este resultado indicaría un concreto propenso a la segregación.

La propiedad del concreto fresco menos representada por el cono es la compactibilidad. El ensayo utiliza la gravedad como energía de deformación mientras que en la práctica, sobre esa fuerza se sobreponen las proporciones por otros medios en especial por la vibración, de tal manera que el Cono no puede representar adecuadamente la menor o mayor facilidad que puede tener el material para acomodarse en el encofrado entre las armaduras. Para evaluar este aspecto es preciso acudir a otros procedimientos. Entre ellos destacan los penetrómetros, tal es el caso del Medidor K, patentado por el candiense K. Nasser y que con aspecto de daga, se introduce verticalmente en la masa de concreto, dejando penetrar en su interior hueco cierta cantidad de mortero sobre el cual un vástago especial realiza

una penetración que es el resultado de la prueba. Una de las ventajas es su manejo sencillo y su facilidad de limpieza. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.4.3 Retracción

Es el fenómeno de encogimiento o disminución de volumen que sufre el material con el tiempo, debido principalmente a la pérdida parcial de agua en las primeras horas y que puede llegar a producir grietas en el material. En las estructuras, la retracción se logra aminorar mediante una adecuada distribución de las armaduras de acero, que la restringen y la reparten de forma más conveniente.

La retracción depende de numerosos factores como la geometría de las piezas, las condiciones atmosféricas de velocidad de viento, humedad y temperatura, y la proporción de los componentes de la mezcla. Dentro de estos componentes son decisivos los ultrafinos y el agua. Los granos ultrafinos están formados por el cemento y las partículas más finas de la arena. Para mezclas que tengan arena con cantidad de ultrafino dentro de los límites normativos o recomendables, la retracción puede ser considerada como dependiente, fundamentalmente de la dosis de agua y de cemento de la mezcla. Al aumentar el agua, o al aumentar la pasta, la penetración se hace mayor. El exceso de ultrafinos aumento el requerimiento de agua para mantener la fluidez, con lo cual hay exceso de agua, y a su vez, mayor retracción por secado. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

La retracción se puede producir en dos etapas diferentes, en los momentos iniciales del fraguado, debida no a la pérdida del agua libre sino a parte del agua de la mezcla, conocida como retracción de fraguado o retracción plástica. La otra, de menor escala, cuando el concreto esta endurecido, generalmente al cabo de semanas o meses es conocida como retracción hidráulica. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.5 Concreto endurecido

II.5.1 Ensayo de resistencia a compresión

La resistencia es la característica mecánica más importante del concreto, pues sirve para juzgar su calidad y para determinarla se emplea el promedio de los resultados de ensayos válidos, sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

El método de ensayo está normalizado según la Norma COVENIN 338:2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”. La norma establece que la resistencia del concreto se determina al conocer el promedio de los resultados válidos sobre un conjunto de probetas normalizadas, las cuales serán de forma cilíndrica con diámetro de 15 cm y altura de 30 cm.

Se debe trabajar siempre con un conjunto mínimo de probetas para contar con una confiabilidad estadística, el número mínimo acostumbrado suele ser tres por cada edad y condición de ensayo. El número de muestras es variable dependiendo del grado de probabilidad esperado, de la importancia de la obra y de la precisión con la que se ha venido trabajando. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Otro factor importante a analizar en este ensayo, es la velocidad con la cual el concreto adquiere esta resistencia. La edad normativa en la cual se evalúa la compresión es a los 28 días, sin embargo se pueden ensayar a otras edades para fines informativos (1, 3, 7, 14, 90 y 360 días).

II.5.1.1 Rotura de las probetas normativas

Según (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008), la rotura de la masa de concreto al ser sometida a la compresión presenta patrones semejantes para cualquier tipo de sollicitación, las cuales permiten identificar las siguientes situaciones:

- **Rotura por agregado.** Los granos gruesos se observan claramente partidos. Esta situación demuestra el uso de agregados indebidos la calidad dudosa de la pasta.
- **Separación por interfase mortero/agregado.** La fractura se muestra en planos de desprendimiento de granos grueso, con la huella sobre la masa de mortero. Esta situación infiere suciedad en los agregados, la cual podría haber impedido la adherencia entre la pasta y los granos, calidad regular de la pasta o en el caso menos probable, excesiva absorción de la piedra, reseccándose las zonas de contacto del mortero.
- **Rotura por pasta.** Se producen desprendimientos del mortero en fragmentos, se podría suponer en este caso, una pasta poco cohesiva, baja dosis de cemento, arenas sucias o calidad de agregados muy superior a la calidad de la pasta.

(Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.5.2 El peso unitario

Esta característica se refiere al peso del concreto por unidad de volumen, y el método utilizado para determinarlo está establecido en la NORMA COVENIN 349 “Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto”.

Los valores del peso unitario W del concreto dependerán del tipo y la proporción de agregados, del contenido de cemento y del volumen de vacíos. Para concretos normales varía entre 2.200 Kg/m^3 y 2.400 Kg/m^3 .

II.5.3 Velocidad del pulso ultrasónico

Este ensayo consiste en medir el tiempo en que tarda un pulso en atravesar la masa de concreto que se quiere evaluar. El mismo es representativo de la

homogeneidad, ya que factores como la densidad, presencia de grietas y contenido de aire, afectan la velocidad del pulso.

El método de ensayo está establecido en la Norma COVENIN 1681-1980 “*Método de Ensayo para determinar la velocidad de propagación de Velocidad de Ondas en el Concreto*”. Se debe cuidar la debida calibración del instrumento, la posición de los terminales (transductores), la presencia del acero de refuerzo y la humedad del concreto. (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

II.5.4 Ensayo esclerométrico

Es un ensayo no destructivo, el objeto es conocer la calidad del concreto en obra, sin que resulte afectada la pieza o estructura objeto de examen.

Con ello se determina la dureza superficial del concreto, bien mediante la energía residual de un impacto sobre la superficie del concreto.

El martillo Schmidt es el más utilizado por su sencillez y bajo costo, mide la dureza superficial del concreto en función del rechazo de un martillo ligero. Debe obtenerse el rechazo medio de varias determinaciones, limpiando y alisando previamente la superficie que se ensaya.

II.5.5 Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad se refiere a la relación entre la tensión aplicada y la deformación unitaria producida. Para el rango elástico:

$$E_c = \Delta f / \Delta \epsilon$$

Ecuación 2.5: Determinación del módulo de elasticidad secante para el rango elástico
Fuente: (NORMA COVENIN 1468 Método para determinar el Módulo de Elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto, 1979)

Donde:

E_c = módulo de elasticidad secante para el rango elástico

Δf = variación tensión medida en kgf/m^2

$\Delta \epsilon$ = variación deformación unitaria adimensional (mm/mm)

Debido a que el concreto no es un material perfectamente elástico, en los rangos de cargas, el material presenta un comportamiento elástico y un comportamiento plástico; puesto que al retirar la carga sólo recupera parcialmente la deformación alcanzada. Cuando es sometido a ciclos de carga y descarga, su deformación remanente será menor y su módulo de elasticidad será más estable.

(Alayón & Álvarez, 2008)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

Para el presente Trabajo Especial de Grado, se evalúan las características de las mezclas de concreto pesado a través de diferentes actividades de laboratorio y con la ayuda de material bibliográfico, entre otros. Por ello, se describe a continuación, paso a paso, todos aquellos procedimientos llevados a cabo para alcanzar los objetivos trazados.

III.1 Método

Así mismo, esta investigación es de tipo experimental, pues se basa en el estudio de las características de las mezclas de concreto pesado con mineral de hierro, a través de ensayos de laboratorio, que permiten inferir sobre la calidad de la mezcla.

Del mismo modo, el análisis es de tipo comparativo ya se pretende contrastar los valores obtenidos en los ensayos de acuerdo a cada tipo de mezcla propuesta.

III.2 Metodología

III.2.1 *Recopilación de información*

Se basa en la captación de todo aquel material bibliográfico que aporte un buen criterio al diseño de mezcla, es decir, desde las características de los materiales constituyentes de la misma hasta las propiedades que cada uno pueda desarrollar.

De esta manera, se toman referencias del mineral de hierro, del Trabajo Especial de Grado, realizado por Alayón y Álvarez, presentado en el año 2008 y que lleva por nombre “Caracterización de las mezclas de concreto pesado elaboradas con mineral de hierro como agregado fino”, y así, ser comparados con los resultados de la siguiente investigación.

Cabe acotar, que el mineral de hierro estudiado en este trabajo posee las mismas características que el utilizado por el autor mencionado anteriormente.

III.2.2 Adquisición de materiales

Todos los materiales constituyentes de la mezcla son producto de diferentes donaciones:

- Por su parte, la arena y la piedra picada fueron suministradas por la Fábrica Nacional de Cementos (F.N.C, antiguamente llamada LAFARGE), ubicada en el sector El Valle, Caracas.
- El Cemento Portland tipo III de alta resistencia, marca CEMEX VENEZUELA, suministrado por la ferretería “Materiales Macaracuay”, ubicada en Guatire, Estado Miranda.



Fotografía 3.1: Cemento Portland Tipo III de Alta Resistencia. Marca CEMEX VENEZUELA
Fuente: Elaboración propia

- El Mineral de Hierro (Hematita) donado por la Siderúrgica del Orinoco “Alfredo Maneiro” SIDOR C.A.



Fotografía 3.2: Mineral de Hierro. SIDOR C.A.
Fuente: Elaboración propia

- Los aditivos de tipo plastificante y superplastificante, marca TECNOCONCRET, donados por el IMME.



Fotografía 3.3: Aditivo tipo Plastificante. Marca TECNOCONCRET
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 3.4: Aditivo tipo Superplastificante. Marca TECNOCONCRET
Fuente: Elaboración propia

Para el análisis químico del mineral de hierro (hematita), se tomó como referencia el trabajo especial de grado elaborado por Alayón y Álvarez, realizado en el año 2008 y que lleva por nombre “Caracterización de las mezclas de concreto pesado elaboradas con mineral de hierro como agregado fino”, en el que se presenta dicho análisis:

ID Muestra (HEMATITA)	Mineral Especial Patio 1 B
Fecha Recepción	07/10/2008
A. Químico	(%)
Fet	64,63
FeO	0,43
SiO ₂	2,12
Al ₂ O ₃	0,88
MgO	0,035
CaO	0,024
TiO ₂	0,100
MnO	0,04
P.P.C	4,37
C	0,140
S	0,0185
Densidad	5,100

Tabla 3.1: Análisis Químico del Mineral

Fuente: Laboratorio de Materias Primas de SIDOR. Ing. Gloria Basanta, Gerente del Instituto de Investigación de Metalurgia y Materiales, SIDOR.

III.2.3 Transporte y almacenamiento de materiales

- La arena y la piedra se transportaron en sacos de 25 Kg aproximadamente, desde la cementera ubicada en el Valle hasta el patio del IMME (Instituto de Materiales y Modelos Estructurales) en la Universidad Central de Venezuela a través de un pick up. Se almacenaron en un sitio techado, con los sacos previamente cerrados para evitar alterar las características iniciales de cada material
- El Cemento fue transportado en sacos de 42.5 kg en una pick up desde la ferretería en Guatire hasta el patio del IMME. Fueron apilados uno encima de otro, para su almacenamiento en un ambiente techado para protegerlos de la humedad.
- El mineral de hierro se encontraba en unos recipientes en el patio del IMME, en un ambiente fresco y techado.
- Los aditivos se encontraban en el IMME por lo que fue fácil su traslado. Los mismos se encontraban en recipientes de 3.75 litros, sellados ya que eran completamente nuevos.



Fotografía 3.5: Traslado del Material
Fuente: Elaboración propia

III.3 Análisis de los materiales constituyentes de la mezcla

Previamente a la elaboración de la mezcla, se realizó un análisis detallado de los agregados, a fin de conocer su estado inicial y así poder tomar previsiones para el momento del diseño.

III.3.1 Granulometría

III.3.1.1 Agregado fino

Se siguieron los lineamientos de la Norma COVENIN 255-1998 “Agregados. Determinación de la composición granulométrica”. Los tamices utilizados fueron: #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200. Los cedazos se encontraban en marcos firmes, bien sujetos para evitar alguna pérdida de material.

III.3.1.2 Mineral de hierro

Cabe destacar que por las características y aspecto visual del mineral, se tomaron los procedimientos granulométricos para agregados finos.

Según el Trabajo Especial de Grado elaborado por Alayón y Álvarez, realizado en el año 2008 y que lleva por nombre “Caracterización de las mezclas de concreto pesado elaboradas con mineral de hierro como agregado fino”, se obtuvo por el método de cuarteo descrito en la norma COVENIN 270-1998 “Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos”.

III.3.1.3 Agregado grueso

El procedimiento también fue regido por la Norma COVENIN 255-1998.

Los tamices utilizados fueron los siguientes: 1½”, 1”; ¾”, ½”; 3/8” y ¼”. Los mismos se encontraban dispuestos en una tamizadora mecánica.



Fotografía 3.6: Tamizadora Mecánica
Fuente: Elaboración propia

III.3.2 Contenido de humedad

III.3.2.1 Agregado fino

La muestra representada se pesó y directamente ese fue su peso húmedo (W_{ω}). Una vez obtenido este peso, se procedió a introducir dicha muestra en el horno a una temperatura de 110°C durante 24 horas (ver anexo fotográfico no.6), y luego se vuelve a pesar obteniendo el peso seco de la muestra (W_s).

Una vez obtenidos los valores anteriores se calcula la humedad del material a través de la siguiente fórmula:

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100$$

Ecuación 3.6: Cálculo de la humedad
Fuente: (Ugas, 1985)

Donde:

ω = contenido de humedad expresada en términos de porcentaje.

W_{ω} = peso húmedo de la muestra (gr)

W_s = peso seco de la muestra (gr)

III.3.2.2 Agregado grueso

La muestra fue considerada completamente seca, por lo tanto su humedad es nula y por ende, no se realizó el procedimiento anteriormente mencionado en el agregado fino.

III.3.3 *Peso específico y absorción*

III.3.3.1 Agregado fino

Para la muestra, se usó el método de cuarteo descrito en la norma COVENIN 270-1998 “Agregados. Extracción de muestras para morteros y concretos”.

Se extendió la muestra húmeda sobre una superficie plana exponiéndose a una corriente de aire tibio y revolviendo con frecuencia hasta lograr un secado uniforme (Norma COVENIN 268-1998 “Agregado Fino. Determinación de la densidad y absorción”). Aquí se obtiene el peso de esta muestra saturada y con superficie seca.



Fotografía 3.7: Secado del material saturado con superficie seca
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se pesó el picnómetro lleno de agua. Se introdujo la muestra saturada y con superficie seca, y así mismo, se fue añadiendo agua hasta un 50%, 75% y 100% de la capacidad del picnómetro.



Fotografía 3.8: Picnómetro con muestra saturada y superficie seca
Fuente: Elaboración propia

Para finalizar, se pesó el picnómetro con la muestra y se extrajo la muestra, secándola hasta una masa constante y se pesó nuevamente.

De esta manera, para determinar el peso específico saturado con superficie seca (γ_s), se aplicó la siguiente fórmula:

$$\gamma_s = W / (W_a + W - W_p)$$

Ecuación 3.7: Cálculo del peso específico con superficie seca

Fuente: (NORMA COVENIN 268 Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción, 1998)

Donde:

γ_s = peso específico saturado con superficie seca

W_a = peso del picnómetro con agua

W = peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca

W_1 = peso en el aire de la muestra seca

W_p = peso del picnómetro con la muestra y el agua

Así mismo, para determinar el porcentaje de absorción se aplicó la siguiente fórmula:

$$A = ((W - W_1)/W_1)*100$$

Ecuación 3.8: Cálculo del porcentaje de absorción

Fuente: (NORMA COVENIN 268 Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción, 1998)

Donde:

A = porcentaje de absorción

W = peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca

W₁ = peso en el aire de la muestra seca

III.3.3.2 Agregado grueso

Según lo establecido en la norma COVENIN 269-1998 “Agregado grueso. Determinación de las densidades y absorción”, se tomó una muestra y se sumergió en agua durante 24 horas para saturar los poros. Luego se remueve el agua y se seca la superficie de las partículas y se determina su masa.

Posteriormente, se sumergió en agua la muestra, en un recipiente. Se tomó el peso de la muestra en el agua a temperatura de 23°C aproximadamente, pero antes se agitó dicho recipiente para eliminar el aire atrapado.

Finalmente, se secó al horno y se volvió a pesar. Ya con estos valores y aplicando las ecuaciones establecidas en la norma, se determinaron las diferentes densidades y la absorción.

Para determinar el peso específico saturado con superficie seca (γ_s), se aplicó la siguiente fórmula:

$$\gamma_s = W_2 / (W_2 - W_3)$$

Ecuación 3.9: Cálculo del peso específico con superficie seca

Fuente: (NORMA COVENIN 269 Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción, 1998)

Donde

γ_s = peso específico saturado con superficie seca

W_2 = peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca.

W_3 = peso en el agua de la muestra saturada

El porcentaje de absorción (A) viene dado por la siguiente fórmula:

$$A = ((W_2 - W_1) / W_1) * 100$$

Ecuación 3.10: Cálculo del porcentaje de absorción

Fuente: (NORMA COVENIN 269 Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción, 1998)

Donde:

A = porcentaje de absorción expresado en porcentaje

W = peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca

W_1 = peso en el aire de muestra seca

III.3.3.3 Mineral de hierro

Siguiendo los lineamientos de la Norma COVENIN 268-1998 “Agregado Fino. Determinación de la densidad y absorción” a pesar de que se están tomando las referencias del Trabajo Especial de Grado elaborado por Alayón y Álvarez, realizado en el año 2008 y que lleva por nombre “Caracterización de las mezclas de concreto pesado elaboradas con mineral de hierro como agregado fino”, se procedió a calcular nuevamente la densidad y absorción del mineral de hierro, tomando en cuenta que las características del material han podido cambiar con respecto al tiempo y condiciones ambientales.

III.3.4 *Peso unitario suelto y compacto*

De acuerdo a la Norma COVENIN 263-1978 “Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado”, se determinó el peso unitario suelto y compacto de los agregados finos y gruesos.

Para la determinación del peso unitario suelto se dejó caer la muestra de cada material sobre cada recipiente normalizado y se llenó hasta el tope, tomando la medida del peso. Así mismo, para la determinación del peso unitario compacto, se procedió a llenar el recipiente en tres capas compactadas a 25 golpes con la barra de metal, y enrasando al final para luego tomar su peso. El volumen del recipiente ya se encontraba referenciado, por lo que no fue necesario su cálculo.



Fotografía 3.9: Muestra del agregado
Fuente: Elaboración propia

III.4 **Diseño de mezcla**

Una vez culminado el análisis a los agregados constituyentes de la mezcla, se procede al diseño de la misma, tratando de establecer un buen criterio que permita cubrir con las necesidades de la presente investigación.

Así mismo, cabe mencionar, que el diseño contemplará tres tipos de mezclas:

- **Mezcla patrón (Mezcla Tipo I).** Constituida por arena, piedra picada y mineral de hierro.

- **Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II).** Constituida por arena, piedra picada, mineral de hierro y una dosis de aditivo superplastificante.
- **Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III).** Constituida por arena, piedra picada, mineral de hierro y una dosis de aditivo plastificante.

Cada una de las mezclas mencionadas anteriormente está diseñada para una resistencia de 280 Kg/cm², siguiendo los lineamientos establecidos por Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, en el año 2008 en su publicación “Manual del Concreto Estructural”, presentándose de la siguiente forma:

III.4.1 Resistencia promedio requerida

Siguiendo la Norma COVENIN 1753-2001, la resistencia promedio requerida F_{cr} a utilizar para la dosificación del concreto, será la mayor calculada de las siguientes fórmulas:

$$F_{cr} = f_c + 1,34 * \sigma$$

Ecuación 3.11: Resistencia promedio requerida a utilizar como base de la dosificación del concreto
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

$$F_{cr} = f_c + 2.34 * \sigma - 35$$

Ecuación 3.12: Resistencia promedio requerida a utilizar como base de la dosificación del concreto
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

F_c = resistencia a compresión especificada en el proyecto (kgf/cm²)

F_{cr} = resistencia promedio requerida (kgf/cm²)

σ = Desviación estándar

(Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

III.4.2 Relación agua/cemento (α)

Partiendo de la Ley de Abrams, se procede a calcular el valor de (α) mediante el despeje de la siguiente ecuación:

$$\alpha = 3,147 - 1,065 * \log(\bar{R})$$

Ecuación 3.13: Cálculo directo de la relación agua/cemento
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

\bar{R} = resistencia media esperada (kgf/cm²)

α = relación agua/cemento

III.4.3 Correcciones de (α)

Se corrigieron los valores de (α) en cuanto a tamaño máximo a través del factor K_R y la del tipo de agregado mediante el factor K_A .

Tabla 3.2: K_R Factor para corregir α por tamaño máximo del agregado (TM)

K_R Factor para corregir α por tamaño máximo del agregado (TM)									
TM	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3
K_R	1,60	1,30	1,10	1,05	1,00	0,91	0,82	0,78	0,74

Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Tabla 3.3: K_A Factor para corregir α por tipo de agregado

K_A Factor para corregir α por tipo de agregado			
GRUESOS	Triturados	Semitriturados	Canto rodado (grava natural)
FINOS			
Arena natural	1,00	0,97	0,91
Arena triturada	1,14	1,10	0,93

Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Finalmente, con los valores de cada factor, se obtiene α_c (corregido):

$$\alpha_c = \alpha * K_R * K_A$$

Ecuación 3.14: Corrección de la relación agua/cemento
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

α_c = valor corregido de la relación agua/cemento

α = relación agua/cemento

K_R = factor de corrección de α por tamaño máximo del agregado

K_A = factor de corrección de α por tamaño tipo de agregado

III.4.4 Asentamiento (T)

Para el diseño se estableció un valor de asentamiento de acuerdo a las necesidades y objetivos perseguidos en esta investigación.

III.4.5 Relación triangular

Con esta expresión se relaciona el asentamiento medido con el Cono de Abrams (T) y la dosis de cemento (C).

$$C = 117,2 * T^{0,16} / \alpha^{1,3}$$

Ecuación 3.15: Relación triangular
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

C = dosis de cemento en kgf/m³

T = asentamiento en el Cono de Abrams

α = relación agua/cemento en peso

III.4.6 Correcciones del cemento

Al igual que el valor de α , la dosis de cemento C debe corregirse mediante los siguientes factores:

Tabla 3.4: C1 Factor para corregir C por tamaño máximo del agregado (TM)

C₁ Factor para corregir C por tamaño máximo del agregado (TM)									
TM	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	2 1/2	3
C₁	1,33	1,20	1,14	1,05	1,00	0,93	0,88	0,85	0,82

Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Tabla 3.5: C2 Factor para corregir C por tipo de agregado

C₂ Factor para corregir C por tipo de agregado			
GRUESOS	Triturados	Semitriturados	Canto rodado (grava natural)
FINOS			
Arena natural	1,00	0,93	0,90
Arena triturada	1,28	1,23	0,96

Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Teniendo los valores de cada factor, se calcula la dosis de cemento corregida (C_C):

$$C_C = C * C_1 * C_2$$

Ecuación 3.16: Corrección de dosis de cemento
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

C_C = dosis de cemento corregida (kgf/m³)

C = dosis de cemento (kgf/m³)

C₁ = factor de corrección de C por tamaño máximo del agregado

C_2 = factor de corrección de C por tipo de agregado

III.4.7 Dosis mínima de cemento por durabilidad

Se expresan los valores de contenidos mínimos de cemento, según las condiciones de servicio o ambientales.

Tabla 3.6: Contenidos mínimos de cemento

Contenidos mínimos de cemento en función de condiciones de servicio o ambientales, según COVENIN 1753:2003	
Condiciones ambientales	Dosis mínima de cemento (kg/m³)
En cualquier circunstancia	270
Ambientes agresivos, marinos	350

Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Para el diseño debe utilizarse el más alto de los siguientes valores requeridos por trabajabilidad (C_c) y que asegura durabilidad (270 kgf/m³), entonces se obtiene:

$$C_D = C_C * 0,3$$

Ecuación 3.17: Contenido mínimo de cemento
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

C_D = contenido mínimo de cemento expresado en (litros/m³)

C_C = dosis de cemento corregido

III.4.8 Volumen de aire atrapado

Se calcula ya que en la mezcla siempre queda alguna cantidad de aire atrapado (V), por ello se tiene:

$$V = C / TM$$

Ecuación 3.18: Cantidad de aire atrapado en la mezcla de concreto
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

V = volumen de aire atrapado en la muestra de cemento expresado en litros/m³

C = Dosis de cemento sin corregir

TM = Tamaño máximo del agregado

III.4.9 Peso de agua

Es el peso del agua presente en la mezcla, se simboliza como a, y viene dado por:

$$a = C * \alpha$$

Ecuación 3.19: Calculo del peso de agua
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

a = peso del agua expresado en (kgf/m³)

C = dosis de cemento sin corregir

α = relación agua/cemento

III.4.10 Relación beta (β)

Esta relación fue calculada mediante gráficos, elaborados a mano, donde con el porcentaje (%) de pasante de cada agregado, tanto fino como grueso, se fue construyendo la gráfica tomando en cuenta los límites granulométricos para distintos tamaños máximos.

Cabe destacar, que el agregado fino en este caso está compuesto por 50% arena y 50% mineral de hierro, por lo que se hizo una combinación de ambos agregados y así obtener un solo porcentaje de pasante común y poder construir la gráfica que determinaría el valor de la relación beta (β).

III.4.11 Volumen absoluto de los agregados

El volumen ocupado por los agregados se obtiene dividiendo el peso de cada uno entre su peso específico, como si estuvieran saturados con superficie seca.

$$V_{(A+G)} = (A+G) / \gamma_{(A+G)}$$

Ecuación 3.20: Cálculo del volumen de los agregados
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

$V_{(A+G)}$ = volumen absoluto de los agregados en la mezcla

A = Agregado fino (kg)

G = Agregado grueso (kg)

$\gamma_{(A+G)}$ = Peso específico de combinación de agregados.

III.4.12 Dosificación de agregados finos (A) y gruesos (G)

Mediante la siguiente expresión se puede calcular los pesos A y G de los agregados finos y grueso:

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

$$G = (1 - \beta) (A + G)$$

Ecuación 3.21: Estimación de la dosificación de los agregados
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

A = Agregado fino (kgf/m³)

G = Agregado grueso (kgf/m³)

β = relación beta

III.4.13 Corrección por humedad

Se considera que el grado de humedad de los agregados en la condición ideal, de saturados con superficie seca, en el cual el material no cede ni toma agua de la mezcla. Entonces el peso del agregado con esta condición se puede relacionar de la siguiente manera:

$$A_{SSS}, G_{SSS} = G_w \times (100 + A_b) / (100 + W)$$

Ecuación 3.22: Corrección por humedad de los agregados
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

A_{SSS}, G_{SSS} = Peso del agregado saturado (arena y grueso) con superficie seca.
(kgf/m³)

G_w = Peso del material húmedo

W = Humedad del agregado.

A_b = Absorción del agregado.

La cantidad de agua requerida para la mezcla se corrige de la siguiente manera:

$$a_M = a_D + A_{SSS} - A_W + G_{SSS} - G_W$$

Ecuación 3.23: Corrección de la cantidad de agua requerida en la mezcla
Fuente: (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)

Donde:

a_M = Cantidad de agua a utilizar en la mezcla (lt/m³)

a_D = Dosis de agua según el diseño

A_{SSS} ; G_{SSS} = Dosis de agregados (arena y grueso) supuestos saturados con superficie seca.

A_W ; G_W = Pesos de los agregados en cualquier condición de humedad

III.4.14 Sustitución del mineral de hierro como agregado fino

Para la obtención de concreto pesado se hizo la sustitución parcial del agregado fino por mineral de hierro, en un 50% del volumen total de finos. De esta manera, se expresa a continuación la formulación llevada a cabo para tal fin:

$$V_{\text{Finos}} = W_{\text{arena}} / \rho_{\text{arena}}$$

Ecuación 3.24: Determinación del volumen total de agregado fino
Fuente: Elaboración propia

Donde:

V_{finos} = Volumen total de finos (lt/m³)

W_{arena} = Peso en kilogramos del mineral

ρ_{arena} = Densidad del mineral

Como se pudo observar ya se obtuvo el volumen total de agregados finos en la mezcla, entonces es ahí donde se procede a la sustitución de mineral de hierro de la siguiente manera:

$$V_{\text{mineral}} = V_{\text{Finos}} * 0,5$$

$$W_{\text{mineral}} = \rho \times V_{\text{mineral}}$$

Ecuación 3.25: Sustitución del mineral de hierro
Fuente: Elaboración propia

Donde:

ρ : Densidad absoluta del mineral

W_{mineral} : Peso en kilogramos del mineral

V_{mineral} : Volumen en litros del mineral

V_{arena} : Volumen en litros de arena

En consecuencia, como la sustitución de finos en la mezcla se hizo mediante una relación 1:1 para cada agregado, los volúmenes de arena y mineral a utilizar en el diseño de mezcla son respectivamente:

$$V_{\text{arena}} = V_{\text{Finos}} * 0,5$$

$$V_{\text{mineral}} = V_{\text{Finos}} * 0,5$$

Ecuación 3.26: Volumen efectivo de agregados finos a utilizar
Fuente: Elaboración propia

Donde:

V_{arena} = volumen total de arena sustituido (lt/m³)

V_{Finos} = volumen total de finos calculado en el diseño de mezcla (lt/m³)

V_{mineral} = volumen total de mineral sustituido (lt/m³)

III.4.15 *Inclusión de aditivos plastificantes*

Con el objeto de mejorar la trabajabilidad de la mezcla se hace la incorporación de aditivos con acción plastificante a la misma. De tal manera, la dosificación se hizo siguiendo los lineamientos del fabricante, en este caso, Tecnoconcrete.

III.4.15.1 Aditivo plastificante

- Dosificación general: 0,28 a 0,56 litros por 100 kg de cemento.
- Dosificación utilizada (Du):

$$Du = (0,28 + 0,56) / 2$$

Ecuación 3.27: Dosis de aditivo plastificante a utilizar
Fuente: Elaboración propia

III.4.15.2 Aditivo superplastificante

- Dosificación general: 0,7 a 1,4 litros por 100 kg de cemento
- Dosificación utilizada (Du):

$$Du = (0,7 + 0,56) / 2$$

Ecuación 3.28: Dosis de aditivo superplastificante a utilizar
Fuente: Elaboración propia

III.4.16 *Elaboración de mezclas de concreto*

Las mezclas de concreto se llevaron a cabo con los equipos y procedimientos necesarios para lograr una combinación efectiva de los distintos agregados constituyentes.

Entre los equipos utilizados se encuentran:

- **Mezcladora de eje de inclinación variable “trompos”.** La capacidad de la mezcladora presente en el laboratorio del IMME es de 125 litros, sin embargo el diseño de cada tipo se hizo en base a 95 litros.
- **Mezcladora de eje vertical.** La capacidad de la mezcladora dispuesta en el laboratorio del IMME es de 60 litros. El diseño de mezcla se hizo para una capacidad de 47,5 litros.

Una vez dispuestos en operación los equipos, se procedió a:

III.4.16.1 Pesado de materiales

Una vez dispuesto el diseño de cada mezcla se procede a pesar la cantidad requerida de cada material. Para tal fin, se utilizó la balanza.

III.4.16.2 Llenado de la mezcladora

- Para el llenado de los equipos de mezclado primero se humedece la superficie de la mezcladora a utilizar.
- Carga de piedra picada y algo de agua.
- Dosis de arena, mineral de hierro y cemento.
- Un poco más de dosis de agua y aditivos plastificantes.
- Resto de la piedra y agua.

El tiempo máximo establecido para cada mezcla fue de 10 min, desde que se introdujo en la mezcladora el último gramo de material.



Fotografía 3.10: Orden de llenado del trompo
Fuente Elaboración propia

III.4.16.3 Medición de asentamiento por el Cono de Abrams

Se tomó la muestra directamente de la mezcladora en movimiento para medir constantemente el asentamiento hasta alcanzar un valor considerable para el estudio planteado en la investigación.

Cabe destacar que este fue medido a través del Cono de Abrams, como lo establece la Norma COVENIN 339:2003 “Método para la Medición del Asentamiento con el Cono de Abrams”, de la siguiente manera:

- Se humedeció la superficie del cono, de forma troncocónica, y se colocó encima de una plancha circular hecha de material rígido.
- Se llenó el cono en tres capas.
- A cada capa se le arrojó un número de 25 golpes con la barra compactadora distribuidos uniformemente.
- Al llegar a la capa final se debe enrasar con la barra compactadora y se desprende el molde, para luego ponerlo en posición invertida al lado de la mezcla resultante.
- Con una cinta métrica se midió el asentamiento, el cual se consideró como la diferencia entre la posición del cono y la altura final de la mezcla.

III.4.16.4 Transporte de la mezcla de concreto

Una vez culminado el tiempo de mezclado y de haber medido el asentamiento, se descargó todo el contenido de la mezcla en el carretón o buggie hasta el sitio donde se dispondrá el vaciado de las probetas.



Fotografía 3.11: Vaciado de la mezcla en el buggie
Fuente Elaboración propia

III.4.17 *Elaboración de probetas cilíndricas de concreto*

Las probetas utilizadas fueron cilíndricas, de un diámetro de 15 cm y altura 30 cm. Se llenó cada probeta en tres capas, cada una de ellas compactada con la barra rígida a razón de 25 golpes, distribuidos uniformemente. Al llegar a la última capa se enrasó con la barra compactadora.



Fotografía 3.12: Llenado y enrase de probetas cilíndricas
Fuente Elaboración propia

A continuación se presenta la cantidad de probetas elaboradas a razón de las edades a ensayar:

Tabla 3.7: Probetas cilíndricas elaboradas para el estudio

Probetas cilíndricas elaboradas para el estudio			
Mezcla / Edad	7 días	14 días	28 días
Mezcla Tipo I	5	5	5
Mezcla Tipo II	5	5	5
Mezcla Tipo III	5	5	5

Fuente: Elaboración propia

III.4.18 *Desencofrado de probetas cilíndricas*

Las probetas se desencofraron transcurridas 24 horas del vaciado, para luego ser sumergidas en tanques de agua con cal.



Fotografía 3.13: Desencofrado de probetas cilíndricas
Fuente: Elaboración propia

III.5 Concreto endurecido

III.5.1 Prueba de pulso ultrasónico

De acuerdo a lo establecido en la Norma COVENIN 1681-1980 “Método de Ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto”. En el laboratorio, se procedió así:

- Calibración del instrumento.
- Se identifican dos puntos en cada probeta, uno en cada extremo, en un mismo eje aproximadamente.
- Se aplica vaselina en el área identificada con el punto.
- Se presionan los transductores contra la superficie del concreto.
- Tomar lectura del tiempo, siempre aproximando al valor que se mantenga más estable en la pantalla del aparato.



Fotografía 3.14: Prueba de ultrasonido
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado este ensayo, se conoció el tiempo que tarda un impulso en atravesar una distancia conocida, y así, se pudo calcular la velocidad de propagación de dicha onda:

$$V = L / t$$

Ecuación 3.29: Velocidad de Pulso Ultrasónico

Fuente: (NORMA COVENIN 1681 Concreto endurecido. Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico, 1980)

Donde:

V: Velocidad del pulso en km/s

L: Base de medición en mm

t: Tiempo de tránsito de la onda, microsegundos

III.5.2 Prueba con el esclerómetro

A partir de la Norma COVENIN 1609-1980 “Método de ensayo para la determinación de la dureza esclerométrica en superficies de concreto endurecidas”, se procede a hacerle la prueba a cada probeta con el esclerómetro:

- La probeta es sometida a una carga en compresión de aproximadamente 35 Kg/cm².
- Con el esclerómetro se dan 20 golpes en la superficie de la probeta, distribuidos uniformemente en la parte central, evitando tomar lecturas en sitios donde hay presencia de poros.
- Se toma nota de cada lectura, en caso de que uno de los valores no tenga relación con las demás, se repite la lectura.



Fotografía 3.15: Prueba del esclerómetro
Fuente: Elaboración propia

III.5.3 Ensayos a compresión

Para determinar la resistencia a la compresión de los cilindros elaborados, se siguió los lineamientos de la norma COVENIN 338-2002 “Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”. De esta manera, el método de ensayo fue el siguiente:

- Las caras de compresión de la muestra deben ser paralelas por lo que se usa el mortero de azufre o yeso dental amarillo.
- Se determinó el diámetro de cada muestra mediante el promedio de dos mediciones.
- Se determinó la altura después de rematadas sus caras con el yeso.
- Se colocó el cilindro en la máquina de ensayo y se aplica la carga de deformación hasta alcanzar la rotura del mismo.
- Se tomó lectura de los valores de carga máxima (kg) y el esfuerzo (kg/cm^2).
- Expresión de resultados.



Fotografía 3.16: Nivelación de probetas con yeso dental
Fuente: Elaboración propia

Para obtener los valores de la resistencia a compresión de cada cilindro se calculó por la siguiente fórmula:

$$R_c = P / A$$

Ecuación 3.30: Cálculo de la resistencia a compresión
Fuente: (NORMA COVENIN 338 Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto, 2002)

Donde:

R_c: Resistencia a compresión kgf/cm²

P: Carga máxima aplicada en kgf

A: Área de la sección transversal del cilindro en cm²

Se tomará como valor final de resistencia a compresión el valor medio de las resistencias de cada cilindro, de acuerdo a la condición de cada tipo de mezcla.

III.4.4 *Modulo de elasticidad*

Acorde a lo establecido en la norma COVENIN 1468-1979 “*Método de Ensayo para Determinar el Módulo de Elasticidad (Secante) en Probetas Cilíndricas de Concreto*”, se procedió de la siguiente manera:

1. Se determinó la sección de la probeta en su zona central, tomando el diámetro en dos repeticiones y tomando como diámetro de cálculo, el promedio de éstos.
2. Se procedió al paralelismo de las caras de la probeta a través del yeso dental amarillo. Se le colocó una capa delgada del material, conocido como capping, en cada una de las caras de la probeta, previamente niveladas.
3. Se tomaron mediciones de las alturas de las probetas luego del remate, y se pesaron.
4. Se les colocaron los puntos de medición del extensómetro, pegados con silicón, los cuales consisten en unos pequeños discos metálicos con un orificio en el centro, en forma de pastillas.
5. Se tomó el 40% de la carga máxima promedio para la edad de 28 días, y así, se determinaron los intervalos de carga a la cual se iba a tomar lectura del extensómetro. Se tomaron 10 lecturas.
6. Se colocó las probetas cuidadosamente en la máquina con los instrumentos de medición ya fijos.
7. Se bajó lentamente la placa para hacer contacto con la probeta y asegurarla.
8. Se aseguró el extensómetro utilizando ligas para sujetarlo.
9. Se realizó el ciclo de precarga aplicando dos cargas consecutivas hasta alcanzar el valor de C y descargar lentamente a cero (0).
10. Se realizó el ciclo de medición, aplicando una tercera carga continua
11. Se compararon las lecturas de este ciclo de medición en cada extensómetro con las lecturas anteriores para verificar si diferían o no en más de 5% del promedio de las lecturas del ciclo anterior.
12. Luego de tomadas las lecturas, se le aplicó una carga a compresión hasta conseguir la ruptura de la probeta.
13. Con las lecturas se calcularon los resultados, hallando el módulo de elasticidad mediante la siguiente fórmula:

$$E_1 = (S_c - S_d) / (\epsilon_c - 5 \times 10^{-5})$$

Ecuación 3.31: Módulo de elasticidad secante

Fuente: (NORMA COVENIN 1468 Método para determinar el Módulo de Elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto, 1979)

Donde:

E_1 = módulo de elasticidad secante de cada una de las curvas (kgf/cm²)

S_c = esfuerzo correspondiente a la carga C, expresada en Kgf/cm²

S_d = Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria longitudinal de 5×10^{-5} expresada en Kgf/cm²

ϵ_c = Deformación unitaria longitudinal por el esfuerzo S_c

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez cumplida la metodología con la que se llevó a cabo cada una de las actividades requeridas para la realización del presente trabajo, se presentan los siguientes resultados:

IV.1 Granulometría

IV.1.1 *Agregado fino*

Se tomó una muestra de 500 gr de arena y se secó durante 24 horas. Se procedió a agitar con las manos, durante unos minutos aproximadamente, el conjunto de tamices a fin de determinar la composición granulométrica del agregado, a través del porcentaje de pasante en cada tamiz.

Tabla 4.8: Granulometría del agregado fino

TAMIZ		PESO RETENIDO (g)	%RETENIDO	%PASANTE
¼"	6,35	0,00	0,00	100,00
#4	4,76	78,00	15,60	84,40
#8	2,36	112,00	22,40	62,00
#16	1,19	114,00	22,80	39,20
#30	0,6	109,00	21,80	17,40
#50	0,3	56,00	11,20	6,20
#100	0,15	19,00	3,80	2,40
#200	0,07	7,00	1,40	1,00
FONDO		5,00	1,00	0,00
		500,00	100,00	

Fuente: Elaboración propia

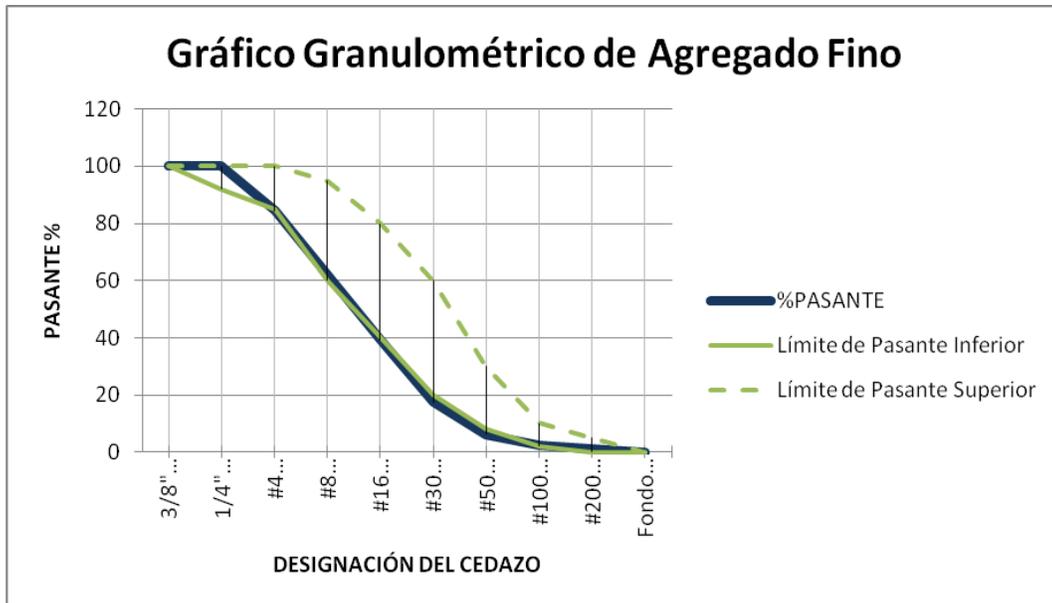


Gráfico 4.1: Gráfico granulométrico del agregado fino

Fuente: Elaboración propia

Se puede notar en el gráfico anterior que la arena utilizada está bien gradada, lo que corrobora su buena granulometría con respecto a los porcentajes de pasante en cada tamiz. Estos hechos hacen que cumplan en su mayoría con los límites granulométricos establecidos por la norma COVENIN 277-200 “Concreto. Agregados. Requisitos”. Los valores que no coinciden con los límites de la Norma solo varían en un 10% aproximadamente, lo que no lo hace significativo.

IV.1.2 Mineral de hierro

Se tomó una muestra de 500 gr, la cual se hizo pasar por los tamices #4, #8, #16; #30, #50 y #100.

Tabla 4.9:

TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	%PASANTE
#4	4,76	71,00	14,20	85,80
#8	2,36	42,00	8,40	77,40
#16	1,19	46,00	9,20	68,20
#30	0,60	40,00	8,00	60,20
#50	0,30	52,00	10,40	49,80
#100	0,15	85,50	17,10	32,70
FONDO		163,50	32,70	-
		500,00	100,00	

Fuente: (Alayón & Álvarez, 2008)

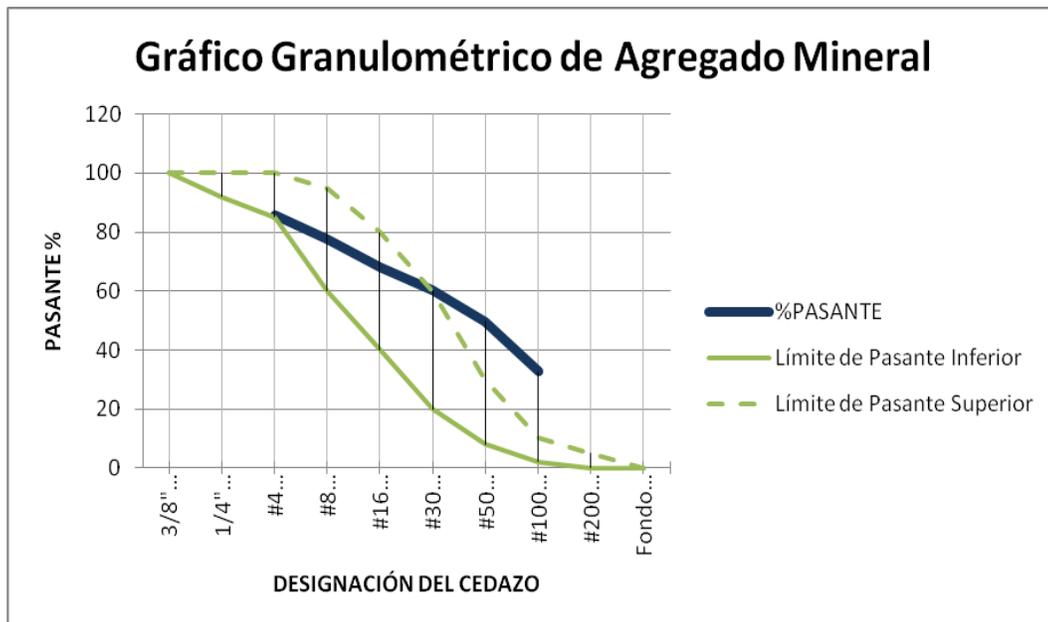


Gráfico 4.2: Gráfico granulométrico del agregado mineral
Fuente: Elaboración propia

Del gráfico anterior se puede observar que en su mayoría se cumplen con los límites granulométricos establecidos por la Norma COVENIN 277-2000 “Concreto. Agregados. Requisitos”. Por su parte, en los cedazos #50 y #100 no se cumplen con estos límites, razón que puede atribuirse a que dicha norma enfatiza que los agregados finos están constituidos por arena de río, de mina ó proveniente de piedras trituradas; de otra fuente o de arena de mar que cumpla con la normativa venezolana.

IV.1.3 Agregado grueso

Se tomó una muestra representativa de 20 Kg, y se secó en el horno durante 24 horas.

Tabla 4.10: Granulometría del agregado grueso

TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	%RETENIDO	%PASANTE
1½"	38,10	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	671,00	3,36	96,64
¾"	19,00	10.525,00	52,65	43,99
½"	12,70	8.262,00	41,33	2,66
3/8"	9,51	366,00	1,83	0,83
¼"	6,35	111,00	0,56	0,28
FONDO		55,00	0,28	0,00
		19.990,00	100,00	

Fuente: Elaboración propia

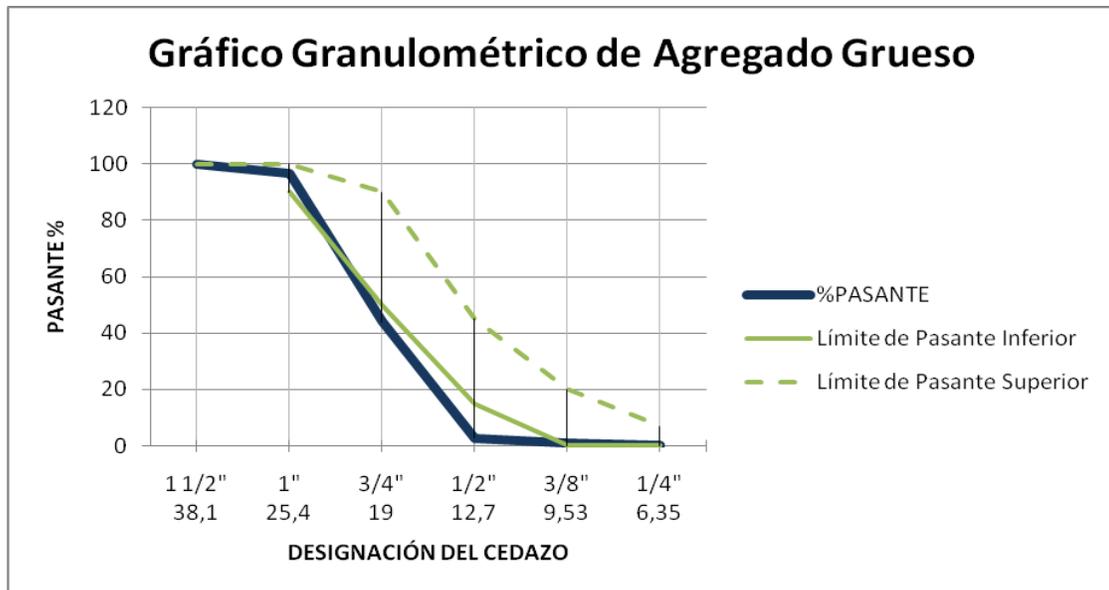


Gráfico 4.3: Gráfico granulométrico del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

De la granulometría mostrada, el material representa una grava #1. Se puede notar que la mayoría cumple con los límites granulométricos establecidos por la Norma COVENIN 277-2000 “Concreto. Agregados. Requisitos”. Sin embargo en el cedazo $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ el porcentaje de pasante se encuentra por debajo del límite inferior.

IV.2 Combinación granulométrica de agregados finos

La siguiente tabla muestra la combinación granulométrica de la arena y el mineral de hierro con el fin de obtener los porcentajes en peso de cada uno y luego calcular los porcentajes en volumen respectivamente. Con los resultados se obtendrán los porcentajes de pasante de esta combinación de agregados, expresados en volúmenes de agregado.

Tabla 4.11: Combinación granulométrica de agregados finos

		ARENA (A)	MINERAL (M)	(A + M) / 2		
TAMIZ		VOLUMEN (ml)	VOLUMEN (ml)	VOLUMEN (ml)	% VOLUMEN	%PASANTE
#4	4,76	29,89	17,44	23,66	15,05	84,95
#8	2,36	42,91	10,32	26,62	16,93	83,07
#16	1,19	43,68	11,30	27,49	17,49	82,51
#30	0,60	41,76	9,83	25,80	16,41	83,59
#50	0,30	21,46	12,78	17,12	10,89	89,11
#100	0,15	7,28	21,01	14,14	9,00	91,00
#200	0,07	2,68	40,17	21,43	13,63	86,37
	FONDO	1,92	-	0,96	0,61	99,39
		191,57	122,85	157,21	100,00	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos no pueden ser comparados con la Norma COVENIN 277-2000 “Concreto. Agregados. Requisitos” ya que los mismos fueron calculados en relación a los volúmenes provenientes de la combinación de ambos agregados, y la Norma toma en cuenta los porcentajes de pasante en peso. Todo esto con el objeto de lograr obtener una mejor relación de beta, cuyo valor fue de **0,57**. El valor calculado se obtuvo a través de gráficos manuales, de esta manera, su precisión no está determinada.

IV.3 Contenido de humedad

A cada uno de los agregados se le calculó el contenido de humedad, sin embargo, para el momento del ensayo la piedra (agregado grueso) se encontraba completamente libre de humedad, razón por la cual se consideró como humedad cero o nula para efectos de cálculos posteriores.

Tabla 4.12: Cálculo del contenido de humedad de cada uno de los agregados

AGREGADO FINO		
Ww=	2.450,00	gr
Ws=	2.300,00	gr
ω=	6,52	%

Fuente: Elaboración propia

Las condiciones físicas de los materiales no eran las más óptimas para la realización de ensayos. Ambos materiales se encontraban bajo las mismas circunstancias ambientales, con abundantes lluvias, teniendo que determinarse la humedad un día antes de comenzar cada mezcla, por lo invariable que puede ser la capacidad de absorción agua de cada material.

La piedra por su parte, se encontraba recubierta por bastante lodo, razón por la cual tuvo que lavarse y ponerse a secar. En la siguiente fotografía se muestra a continuación el proceso de lavado de este agregado grueso:



Fotografía 4.17: Lavado del agregado grueso
Fuente: Elaboración propia

IV.4 Peso específico y porcentaje de absorción

IV.4.1 Agregado fino

Se tomó una muestra de aproximadamente 1.200 gr, la cual fue sumergida en agua durante 24 horas para lograr la condición ideal de saturado con superficie seca.

Tabla 4.13: Peso específico y porcentaje de absorción de agregados finos

$W_1=$	486,00 gr
$W_a=$	1.249,00 gr
$W=$	500,00 gr
$W_p=$	1.557,00 gr
$Y_s=$	2,60
$A=$	2,88 %

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los valores usuales de las relaciones peso/volumen de los agregados no livianos (Tabla III.7 “Manual del Concreto Estructural”, (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008), el peso específico saturado con superficie seca, dio un valor de 2,60 gr/ml. Dicho valor se encuentra justo en la media de los límites establecidos. Por su parte, el porcentaje de absorción es de 2,88% debido a la gran capacidad de absorción que poseen las arenas.

IV.4.2 Mineral de hierro

Tabla 4.14: Peso específico y porcentaje de absorción del mineral de hierro

W1=	485,00 gr
Wa=	1.248,00 gr
W=	500,00 gr
Wp=	1.625,00 gr
Ys=	4,07
A=	3,09%

Fuente: Elaboración propia

Por ser este mineral un material con alto contenido en hierro y otros minerales, arrojó un valor de peso unitario saturado con superficie seca de 4,07 gr/ml. Este valor corrobora su utilización como agregado en la fabricación de concretos con altas densidades (concreto pesado). Así mismo, de acuerdo a los valores usuales de las relaciones peso/volumen de los agregados no livianos (Tabla III.7 “Manual del Concreto Estructural”, (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008), este valor de densidad (peso unitario) se encuentra fuera de los límites, puesto que no es un agregado común para dicha clasificación.

IV.4.3 Agregado grueso

Tabla 4.15: Peso específico y porcentaje de absorción de agregados gruesos

W1=	2.987,00 gr
W2=	3.021,00 gr
W3=	1.871,00 gr
Ys=	2,63
A=	1,14 %

Fuente: Elaboración propia

El peso unitario del agregado grueso dio un valor de 2,63 gr/ml, encontrándose dentro del rango de valores usuales de las relaciones peso/volumen de los agregados no livianos (Tabla III.7 “Manual del Concreto Estructural”, (Porrero, Ramos, Velazco, & Grases, 2008)). La absorción muestra un valor de 1,14%, inferior en un 60% aproximadamente con respecto a la arena y el mineral de hierro.

IV.5 Peso unitario suelto y compacto

IV.5.1 Agregado fino

Tabla 4.16: Peso unitario suelto y compacto del agregado fino

Descripción	Peso	
Peso de la muestra suelta	4.374,00	kg
Volumen del recipiente	2.858,00	dm ³
Peso unitario suelto	1,53	kg / dm ³
Peso muestra compacta	4.776,00	kg
Peso unitario compacto	1,67	kg / dm ³
Peso del recipiente	2.699,00	Gr

Fuente: Elaboración propia

IV.5.2 Agregado grueso

Tabla 4.17: Peso unitario suelto y compacto del agregado grueso

Descripción	Peso	
Peso de la muestra suelta	20.318,00	Kg
Volumen del recipiente	14.400,00	dm ³
Peso unitario suelto	1,41	kg / dm ³
Peso muestra compacta	22.113,00	Kg
Peso unitario compacto	1,54	kg / dm ³
Peso del recipiente	8.737,00	Gr

Fuente: Elaboración propia

IV.6 Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla se consideraron mezclas con una resistencia de 280 kg/cm², y los factores de corrección tanto para el alfa como para el cemento se determinaron un tamaño máximo de agregado de 1 ½”.

Tabla 4.18: Diseño de mezcla

RESISTENCIA FIJADA	$F_c=$	280,00	unidad
DESVIACIÓN ESTANDAR	$\sigma=$	32,00	Adim
RESISTENCIA REQUERIDA	$F_{cr}=$	322,88	Kgf/cm ²
RELACIÓN AGUA/CEMENTO	$\alpha=$	0,47	Adim
RELACIÓN AGUA/CEMENTO CORREGIDA	$\alpha_c=$	0,39	Adim
ASENTAMIENTO	$T=$	10,00	cm
DOSIS DE CEMENTO	$C=$	570,00	Kfg/m ³
DOSIS DE CEMENTO CORREGIDA	$C_c=$	477,09	Kfg/m ³
DOSIS MIN. CEMENTO POR DURABILIDAD	$C_d=$	143,13	Kfg/m ³
VOLUMEN DE AIRE	$V=$	14,96	Lt/m ³
PESO DEL AGUA	$a=$	187,61	Lt
RELACIÓN BETA	$\beta=$	0,57	adim
DOSIS DE FINOS	$A=$	974,49	kg
DOSIS DE GRUESOS	$G=$	735,14	kg
VOLUMEN TOTAL DE AGREGADOS	$V (A + G)$	654,30	

Fuente: Elaboración propia

IV.6.1 Corrección por humedad

Tabla 4.19: Corrección por humedad

Corrección por humedad		
Gw=	726,85	kg/m ³
Aw=	1.008,98	kg/m ³
aM=	161,40	lt/m ³

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta que el diseño de mezcla se hace con la condición de “saturados con superficie seca”, esta corrección es sumamente importante, puesto que en la práctica los agregados están dispuestos a cualquier condición de humedad.

Así se puede observar que el valor de peso del agregado grueso disminuyó un 1% de la proporción, mientras que en la cantidad de agua la disminución fue de aproximadamente 26 litros por metro cúbico.

IV.6.2 Volumen de sustitución de finos

Tabla 4.20: Volumen de sustitución de finos

V total finos (m³)	388,07
V utilizar (m³)	194,04

Fuente: Elaboración propia

Para hacer una sustitución de finos con mayor exactitud, se calculó el volumen total de los agregados finos para un metro cúbico de mezcla de concreto. De allí se dispuso del 50% del volumen para arena y otro 50% para el mineral de hierro.

IV.6.3 Dosis de aditivos

Tabla 4.21: Cantidad de dosis de aditivos

Tipo de aditivo	Dosis (litros por 100 kg de cemento)
Plastificante	0,42
Superplastificante	1,05

Fuente: Elaboración propia

Las dosis fueron calculadas de acuerdo a las especificaciones del fabricante, tomando el valor medio entre los límites de dosificación expuesto a manera de conseguir un equilibrio en el desarrollo del diseño de mezcla.

IV.6.4 Tipos de mezclas elaboradas

IV.6.4.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I)

La mezcla patrón para el diseño previsto tuvo una apariencia poco trabajable, pudiendo decirse que fue bastante consistente. El tiempo de mezclado fue de 11 minutos. Tratando de lograr una mayor adherencia entre los agregados y evitando que queden pegados parte de los materiales en las paredes internas del trompo. Se cambió la inclinación del trompo a los 8 minutos de haber empezado.

Tabla 4.22: Componentes de la mezcla patrón Tipo I

Peso arena (kg)	47,93
Peso mineral (kg)	75,02
Peso piedra (kg)	69,05
Agua (lt)	15,33
Cemento Cc (kg)	45,32

Fuente: Elaboración propia

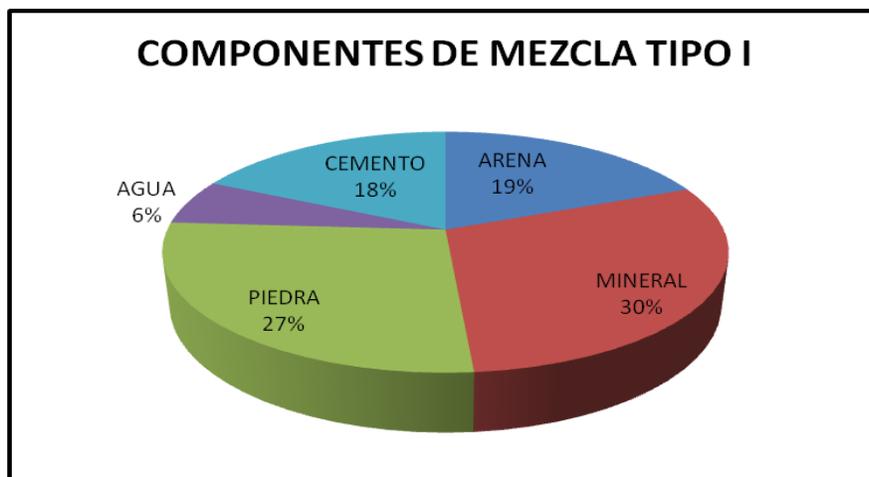


Gráfico 4.4: Componentes de la mezcla patrón Tipo I
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el gráfico las proporciones de los materiales constituyentes de la mezcla. Un 49% de la mezcla está constituida por agregados finos, razón por la cual aumenta la superficie a lubricar y por ende, la demanda de agua de la mezcla.

IV.6.4.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II)

La apariencia de la mezcla para el diseño previsto con respecto a la mezcla patrón mejoró solo un poco en cuanto a fluidez, sin embargo, sigue siendo consistente en cuanto a la condición de atiesamiento. Su tiempo de mezclado en el trompo fue de 10 minutos.

Tabla 4.23: Componentes de la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II

Peso arena (Kg)	47,93
Peso mineral (Kg)	75,02
Peso piedra (Kg)	69,05
Agua (lt)	15,33
Aditivo (lt)	0,48
Cemento Cc (Kg)	45,32

Fuente: Elaboración propia

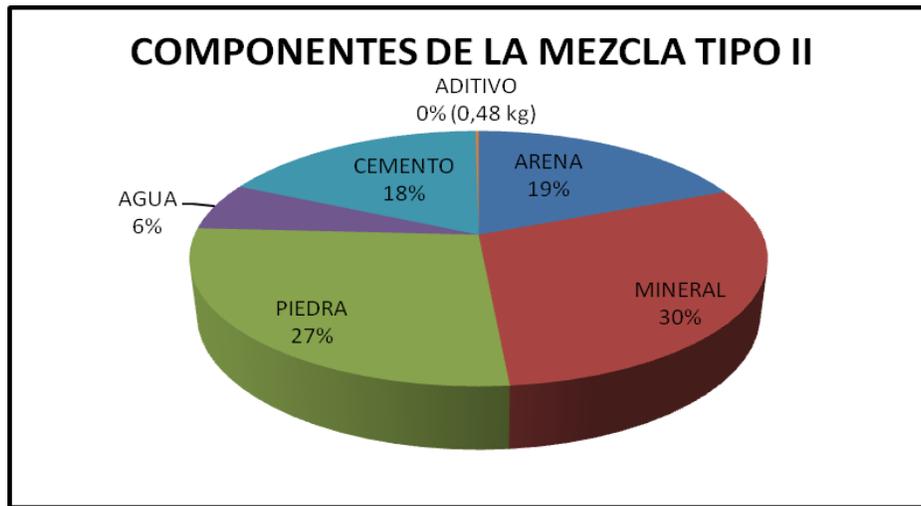


Gráfico 4.5: Componentes de la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II
Fuente: Elaboración propia

Se puede notar que a pesar de que esta mezcla aporta mayor participación de líquidos como medios de lubricación (agua y aditivo), aún sigue siendo poco significativa su acción en la mejora de la trabajabilidad de la mezcla, pues la absorción de los agregados finos es mucho mayor por la gran superficie que representan.

IV.6.4.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III)

La fluidez de la mezcla sigue mejorando con respecto a la mezcla patrón, por acción del aditivo y también puede atribuirse esta mejora a que se utilizó la mezcladora de eje vertical. Se usó esta mezcladora ya que el trompo no se encontraba operativo para el día de la elaboración de la misma, pudiendo observarse que la consistencia de la misma bajó.

Tabla 4.24: Componentes de la mezcla con aditivo plastificante Tipo III

Peso arena (Kg)	47,93
Peso mineral (Kg)	75,02
Peso piedra (Kg)	69,05
Agua (lt)	15,33
Aditivo (lt)	0,19
Cemento Cc (Kg)	45,32

Fuente: Elaboración propia

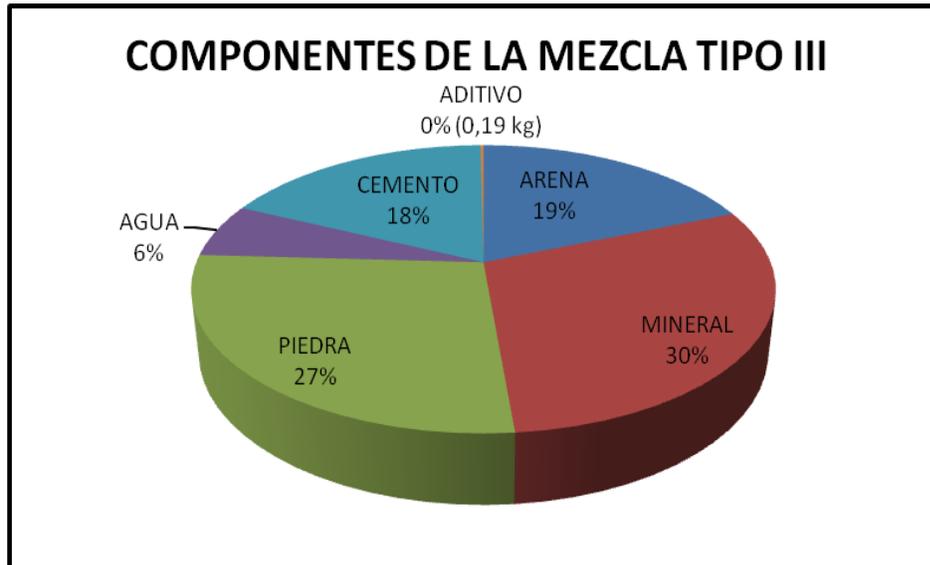


Gráfico 4.6: Componentes de la mezcla con aditivo superplastificante Tipo III

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar como la dosis de aditivo es mucho menor que en la mezcla anterior. De igual manera, por la proporción de finos presentes, la superficie a lubricar no presenta ninguna correlación con respecto a la parte líquida de la mezcla, disminuyendo aun más sus posibilidades de fluidez.

IV.7 Medición de asentamiento (T) por el Cono de Abrams

Es importante señalar que los valores de trabajabilidad fueron medidos durante el proceso de mezclado en cada una de las mezclas mediante el método del Cono de Abrams.

IV.7.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I)

El diseño de mezcla contempla la búsqueda de un asentamiento de 10 cm, sin embargo, la cantidad de agua requerida por la mezcla no produjo buenos resultados en cuanto a trabajabilidad, por lo que tuvo que agregarse agua forma gradual hasta conseguir un valor cercano al asentamiento teórico. En el siguiente cuadro se aprecian estas mediciones con mayor precisión, donde la adición de agua se hizo a razón de 2 litros progresivamente hasta alcanzar el asentamiento:

Tabla 4.25: Asentamiento medido para la mezcla patrón Tipo I

Asentamiento, T (cm)	Cantidad de agua adicional (litros)
0,00	2,00
4,00	4,00
10,50	8,00

Fuente: Elaboración propia



Fotografía 4.18: Asentamiento de 4 cm con 4 litros adicionales de agua
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 4.19: Asentamiento de 10,5 cm con 8 litros adicionales de agua
Fuente: Elaboración propia

Al adicionar los 8 litros a la mezcla se mejoró la trabajabilidad ya que se consiguió el valor de asentamiento establecido en el diseño de mezcla, y se obtuvo una mayor fluidez, facilitando así su colocación en los moldes.

IV.7.2 Mezcla con aditivo superplastificante (*Mezcla Tipo II*)

A esta mezcla se le adicionaron 4 litros de agua inicialmente (por la gran consistencia que la misma presentaba), consiguiendo un asentamiento bastante pequeño para la acción del aditivo, de 5,5 cm. Por tal motivo se le agregaron 2 litros más de agua, logrando conseguir un asentamiento de 15,5 cm. Con este resultado se puede evidenciar como las proporciones de agua adicionales (2 litros gradualmente) no garantizan una proporción equilibrada en el incremento del asentamiento, esto se debe a la acción del aditivo.



Fotografía 4.20: Asentamiento de 15,5 cm con 6 litros adicionales de agua
Fuente: Elaboración propia

IV.7.3 Mezcla con aditivo plastificante (*Mezcla Tipo III*)

A la siguiente mezcla también se le agregaron 6 litros de agua adicionales al diseño de mezcla para seguir la correlación con la mezcla con aditivo superplastificante. En este caso, el asentamiento medido a través del Cono de Abrams fue de 20 cm. Esta mejora en la trabajabilidad también puede atribuirse al tipo de mezcladora utilizada (mezcla de eje vertical), donde se observó una mejor adherencia y fluidez de todos los agregados en comparación con las mezclas anteriores elaboradas en el trompo.



Fotografía 4.21: Asentamiento de 20 cm con 6 litros adicionales de agua
Fuente: Elaboración propia

IV.7.4 Resumen de medición de asentamiento en mezclas

En consecuencia, una vez analizadas los tres tipos de mezclas, se presenta un cuadro resumen de las medidas de asentamiento en cada una de ellas, y así poder correlacionar unas con otras:

Tabla 4.26: Resumen de medición de asentamientos en mezclas

Mezcla	T (cm)
Mezcla patrón (Mezcla Tipo I)	10,50
Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II)	15,50
Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III)	20,00

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar como las dos mezclas con aditivos de tipo plastificante, cumplieron su función, pues se logró en ambas, un gran cambio en el asentamiento con respecto a la mezcla patrón.

IV.8 Densidad en estado fresco

Tabla 4.27: Densidad del concreto en estado fresco para los tres tipos de mezcla

MUESTRA	PESO MOLDE (kg)	PESO MUESTRA + MOLDE (kg)	PESO MUESTRA (kg)	VOLUMEN MOLDE (litros)	DENSIDAD (kg/m ³)
MEZCLA TIPO I	8,75	46,40	37,65	14,10	2.670,21
MEZCLA TIPO II	8,75	46,90	38,15	14,10	2.705,67
MEZCLA TIPO III	8,75	46,30	37,55	14,10	2.663,12

Fuente: Elaboración propia

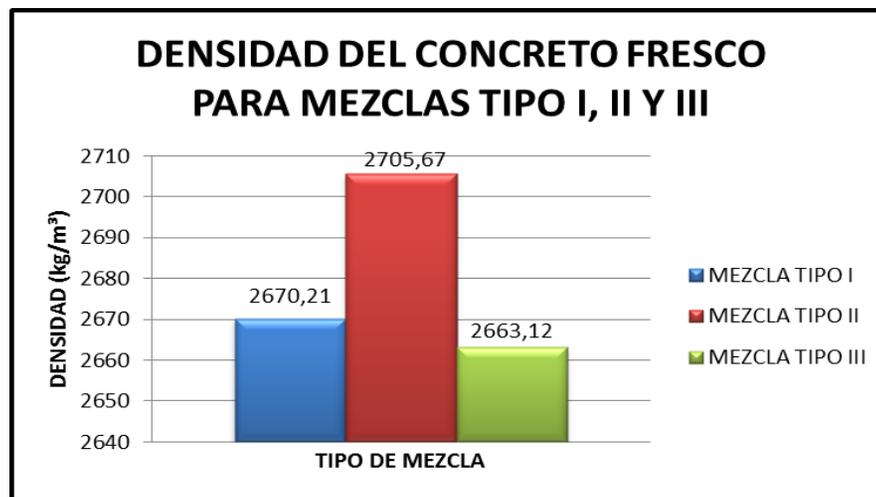


Gráfico 4.7: Gráfico comparativo de la densidad del concreto en estado fresco para los tres tipos de mezclas a la edad de 7 días
Fuente: Elaboración propia

Del siguiente gráfico, se puede apreciar como la mezcla tipo II alcanzó el mayor valor de densidad en estado fresco, de 2.705,67 kg/m³, medido al momento de la elaboración de la mezcla. Esto puede atribuirse al empleo del aditivo superplastificante. Sin embargo, la mezcla tipo III, cuyo aditivo empleado fue de tipo plastificante, alcanzó menor valor que la mezcla patrón, de 2.633,12 kg/m³.

IV.9 Densidad del concreto en estado endurecido

IV.9.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):

IV.9.1.1 Edad 7 días

Tabla 4.28: Densidad del concreto en estado endurecido de la mezcla patrón Tipo I a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Volumen (cm ³)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
1.1	20-sep-10	27-sep-10	15,05	15,09	15,07	29,90	14,03	178,37	5.333,20	5,33E-03	2.629,76
1.2	20-sep-10	27-sep-10	15,04	15,09	15,07	30,42	14,07	178,25	5.422,35	5,42E-03	2.594,82
1.3	20-sep-10	27-sep-10	15,03	15,07	15,05	30,25	14,08	177,89	5.381,31	5,38E-03	2.617,21
1.4	20-sep-10	27-sep-10	15,00	15,03	15,02	30,15	14,05	177,07	5.338,61	5,34E-03	2.632,34
1.5	20-sep-10	27-sep-10	15,08	15,00	15,04	30,52	14,16	177,66	5.422,13	5,42E-03	2.610,97

Fuente: Elaboración propia

IV.9.1.2 Edad 14 días

Tabla 4.29: Densidad del concreto en estado endurecido de la mezcla patrón Tipo I a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Volumen (cm ³)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
1.6	20-sep-10	04-oct-10	15,06	15,02	15,04	30,1	13,96	177,66	5.347,52	5,35E-03	2.609,81
1.7	20-sep-10	04-oct-10	14,97	14,92	14,95	30,2	13,97	175,42	5.297,72	5,30E-03	2.636,61
1.8	20-sep-10	04-oct-10	15,03	15,07	15,05	30,31	14,18	177,89	5.391,99	5,39E-03	2.629,27
1.9	20-sep-10	04-oct-10	15,05	15,03	15,04	29,90	13,87	177,66	5.311,98	5,31E-03	2.611,45
1.10	20-sep-10	04-oct-10	15,05	15,07	15,06	30,32	13,99	178,13	5.400,94	5,40E-03	2.590,66

Fuente: Elaboración propia

IV.9.1.3 Edad 28 días

Tabla 4.30: Densidad del concreto en estado endurecido de la mezcla patrón Tipo I a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Volumen (cm ³)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
1.11	20-sep-10	18-oct-10	15,20	15,07	15,14	30,50	14,12	179,91	5.487,25	5,49E-03	2.573,24
1.12	20-sep-10	18-oct-10	15,10	15,10	15,10	30,52	14,07	179,08	5.465,48	5,47E-03	2.574,34
1.13	20-sep-10	18-oct-10	15,10	15,02	15,06	30,45	13,96	178,13	5.424,09	5,42E-03	2.573,70

Fuente: Elaboración propia

El concreto endurecido para la mezcla tipo I, transcurridos los primeros 7 días tuvo una variación, entre una probeta y otra, poco significativa. El valor más bajo fue de 2.594,82 kg/m³ mientras que el más alto fue de 2.632,34 kg/m³. Sin embargo para efectos de análisis comparativos se tomará el promedio de todas las muestras, cuyo valor es 2.617,02 kg/m³.

A la edad de 14 días después de la elaboración de las probetas, se pudo observar como las densidades se han mantenido con valores con poca desviación, siendo el menor valor de 2.590,66 kg/m³ mientras que el mayor se presenta con 2.636,61 kg/m³. Sin embargo, para efectos de análisis comparativos se tomará el promedio de todas las densidades, dando un valor de 2.615,56 kg/m³

Finalmente, a los 28 días, se puede observar que el orden de variación de densidad entre una probeta y otra tuvo una desviación mucho menor. Tanto es así, que el menor valor fue de 2.573,24 kg/m³ mientras que el mayor fue de 2.574,34 kg/m³. Para efectos de análisis comparativos, se tomará el valor promedio de todas las densidades, 2.573,76 kg/m³.

IV.9.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):

IV.9.2.1 Edad 7 días

Tabla 4.31: Densidad del concreto en estado endurecido de la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Volumen (cm ³)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
2.1	20-sep-10	27-sep-10	14,92	14,98	14,95	30,33	14,06	175,54	5.324,08	5,32E-03	2.640,08
2.2	20-sep-10	27-sep-10	14,98	15,05	15,02	30,06	14,07	177,07	5.322,67	5,32E-03	2.643,22
2.3	20-sep-10	27-sep-10	15,00	15,01	15,01	30,31	14,22	176,83	5.359,79	5,36E-03	2.652,72
2.4	20-sep-10	27-sep-10	15,06	15,05	15,06	30,22	13,98	178,01	5.379,55	5,38E-03	2.599,10
2.5	20-sep-10	27-sep-10	15,07	15,11	15,09	30,32	14,17	178,84	5.422,47	5,42E-03	2.612,83

Fuente: Elaboración propia

IV.9.2.2 Edad 14 días

Tabla 4.32: Densidad del concreto en estado endurecido de la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Volumen (cm ³)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
2.6	20-sep-10	04-oct-10	15,02	15,04	15,03	30,10	14,03	177,42	5.340,41	5,34E-03	2.626,20
2.7	20-sep-10	04-oct-10	15,14	15,07	15,11	30,05	14,15	179,20	5.384,88	5,38E-03	2.628,10
2.8	20-sep-10	04-oct-10	14,97	14,90	14,94	30,30	13,99	175,19	5.308,15	5,31E-03	2.635,57
2.9	20-sep-10	04-oct-10	15,04	15,02	15,03	30,60	13,93	177,42	5.429,12	5,43E-03	2.566,53
2.10	20-sep-10	04-oct-10	14,99	15,00	15,00	30,55	14,05	176,60	5.395,03	5,40E-03	2.603,51

Fuente: Elaboración propia

IV.9.2.3 Edad 28 días

Tabla 4.33: Densidad del concreto en estado endurecido de la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Volúmen (cm ³)	Volúmen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
2.11	20-sep-10	18-oct-10	15,13	15,06	15,10	30,30	14,13	178,96	5.422,49	5,42E-03	2.605,81
2.12	20-sep-10	18-oct-10	15,07	15,07	15,07	30,42	14,10	178,37	5.425,95	5,43E-03	2.598,62
2.13	20-sep-10	18-oct-10	15,10	15,02	15,06	30,26	14,16	178,13	5.390,25	5,39E-03	2.626,97
2.14	20-sep-10	18-oct-10	15,05	15,06	15,06	30,44	14,19	178,01	5.418,71	5,42E-03	2.618,70

Fuente: Elaboración propia

En estado endurecido en la mezcla tipo II, el concreto a los 7 días alcanzó valores de densidad, entre el más bajo de 2.599,10 kg/m³, mientras que el mayor fue de 2.652,72 kg/m³. Para efectos de análisis comparativos, se tomará el promedio de todos los valores, teniendo una densidad de 2.629,59 kg/m³.

La densidad a la edad de 14 días fue de 2.566,53 kg/m³, en su valor más bajo mientras que tuvo un máximo de 2.635,57 kg/m³. Para efectos de análisis, se tomará el valor promedio de todos los valores, teniendo una densidad de 2.578,06 kg/m³.

A los 28 días la densidad del conjunto de probetas estudiadas arrojó un valor mínimo de 2.598,62 kg/m³ mientras que en un valor máximo se pudo apreciar 2.626,97 kg/m³. Para efectos de análisis comparativos se tomará el promedio de todas las densidades, teniendo un valor de 2.612,53 kg/m³.

IV.9.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):

IV.9.3.1 Edad 7 días

Tabla 4.34: Densidad del concreto en estado endurecido de la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Volumen (cm ³)	Volumen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
3.1	20-sep-10	27-sep-10	14,97	15,02	15,00	30,72	13,89	176,60	5.425,05	5,43E-03	2.560,34
3.2	20-sep-10	27-sep-10	14,91	14,96	14,94	30,52	13,78	175,19	5.346,69	5,35E-03	2.577,30
3.3	20-sep-10	27-sep-10	14,89	14,97	14,93	30,21	13,84	175,07	5.288,84	5,29E-03	2.616,83
3.4	20-sep-10	27-sep-10	15,05	15,10	15,08	30,54	13,88	178,49	5.450,97	5,45E-03	2.546,34
3.5	20-sep-10	27-sep-10	15,15	15,21	15,18	30,30	14,20	180,98	5.483,73	5,48E-03	2.589,48

Fuente: Elaboración propia

IV.9.3.2 Edad 14 días

Tabla 4.35: Densidad del concreto en estado endurecido de la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Volúmen (cm ³)	Volúmen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
3.6	20-sep-10	04-oct-10	15,11	15,08	15,10	30,22	13,98	178,96	5.408,17	5,41E-03	2.584,05
3.7	20-sep-10	04-oct-10	15,06	15,09	15,08	30,18	14,02	178,49	5.386,71	5,39E-03	2.603,07
3.8	20-sep-10	04-oct-10	15,09	15,06	15,08	30,54	14,03	178,49	5.450,97	5,45E-03	2.573,86
3.9	20-sep-10	04-oct-10	15,02	14,96	14,99	30,33	13,85	176,48	5.352,61	5,35E-03	2.587,71
3.10	20-sep-10	04-oct-10	14,90	14,91	14,91	30,27	13,82	174,48	5.281,61	5,28E-03	2.616,06

Fuente: Elaboración propia

IV.9.3.3 Edad 28 días

Tabla 4.36: Densidad del concreto en estado endurecido de la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Volúmen (cm ³)	Volúmen (m ³)	Densidad (kg/m ³)
3.11	20-sep-10	18-oct-10	14,90	14,82	14,86	30,22	13,73	173,43	5.241,09	5,24E-03	2.619,68
3.12	20-sep-10	18-oct-10	15,02	15,16	15,09	30,32	14,09	178,84	5.422,47	5,42E-03	2.598,44
3.13	20-sep-10	18-oct-10	15,20	15,08	15,14	30,46	14,11	180,03	5.483,67	5,48E-03	2.573,09
3.14	20-sep-10	18-oct-10	15,05	15,00	15,03	30,50	13,87	177,30	5.407,78	5,41E-03	2.564,83

Fuente: Elaboración propia

Una vez transcurridos 7 días después de la elaboración de la mezcla, el concreto endurecido para la mezcla tipo III, alcanzó valores de densidad entre 2.546,34 kg/m³ como valor mínimo, mientras que el valor máximo fue de 2.616,83 kg/m³. Sin embargo se considerará el valor promedio para lograr un mejor ajuste, siendo entonces la densidad igual a 2.578,06 kg/m³.

A los 14 días la densidad del conjunto de probetas estudiadas arrojó un valor mínimo de 2.584,05 kg/m³ mientras que en un valor máximo se pudo apreciar 2.616,06 kg/m³. Para efectos de análisis comparativos se tomará el promedio de todas las densidades, teniendo un valor de 2.592,95 kg/m³.

Finalmente, a los 28 días se obtuvo como valor más bajo 2.594,82 kg/m³ mientras que el más alto fue de 2.632,34 kg/m³. Sin embargo para efectos de análisis comparativos se tomará el promedio de todas las muestras, cuyo valor es 2.589,01 kg/m³

IV.9.4 Comparación de mezclas Tipo I, II Y III: densidad del concreto en estado endurecido a la edad de 7 días.

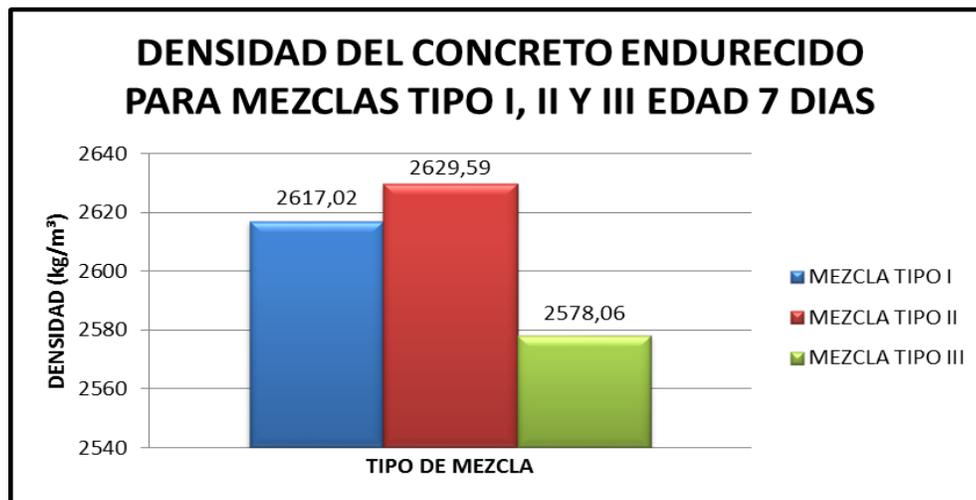


Gráfico 4.8: Gráfico comparativo de la densidad del concreto en estado endurecido entre los tres tipos de mezclas a la edad de 7 días

Fuente: Elaboración propia

A la edad de 7 días, la mezcla tipo II alcanzó una densidad de 2.629,59 kg/m³. Por su parte, la mezcla tipo III obtuvo un menor valor de densidad, de 2.578,06 kg/m³. Todos estos valores referidos con respecto a la mezcla patrón.

IV.9.5 Comparación de mezclas Tipo I, II Y III: densidad del concreto en estado endurecido a la edad de 14 días.

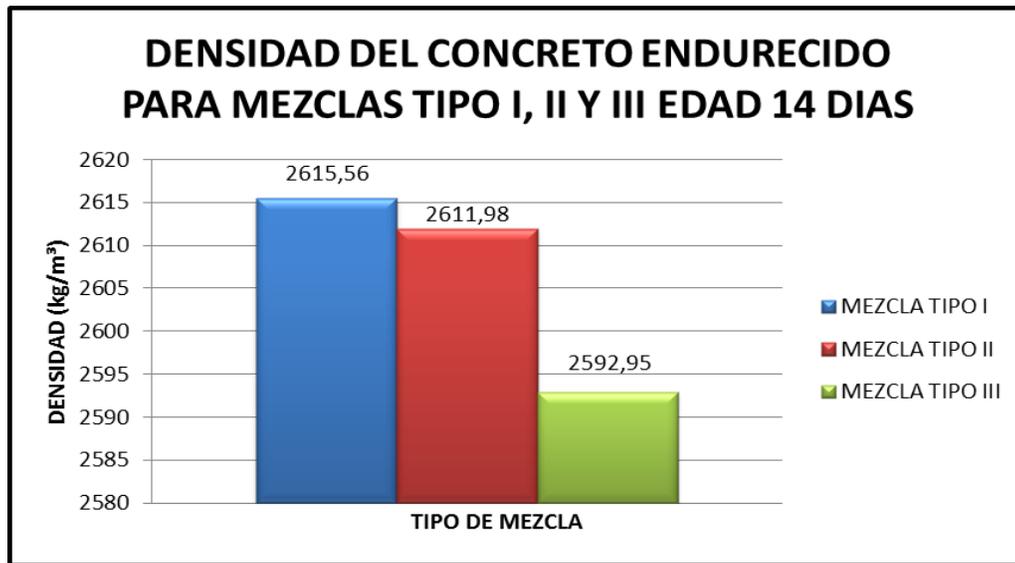


Gráfico 4.9: Gráfico comparativo de la densidad del concreto en estado endurecido entre los tres tipos de mezclas a la edad de 14 días
Fuente: Elaboración propia

Transcurridos los 14 días de haber elaborado la mezcla, la densidad para el concreto endurecido en la mezcla patrón, fue de 2.615,56 kg/m³. Este valor representa el mayor de los tres tipos de mezcla, mientras que para la mezcla tipo II y tipo III, donde se usó aditivos de tipo plastificante, la densidad fue decreciendo respectivamente.

IV.9.6 Comparación de mezclas Tipo I, II Y III: densidad del concreto en estado endurecido a la edad de 28 días.

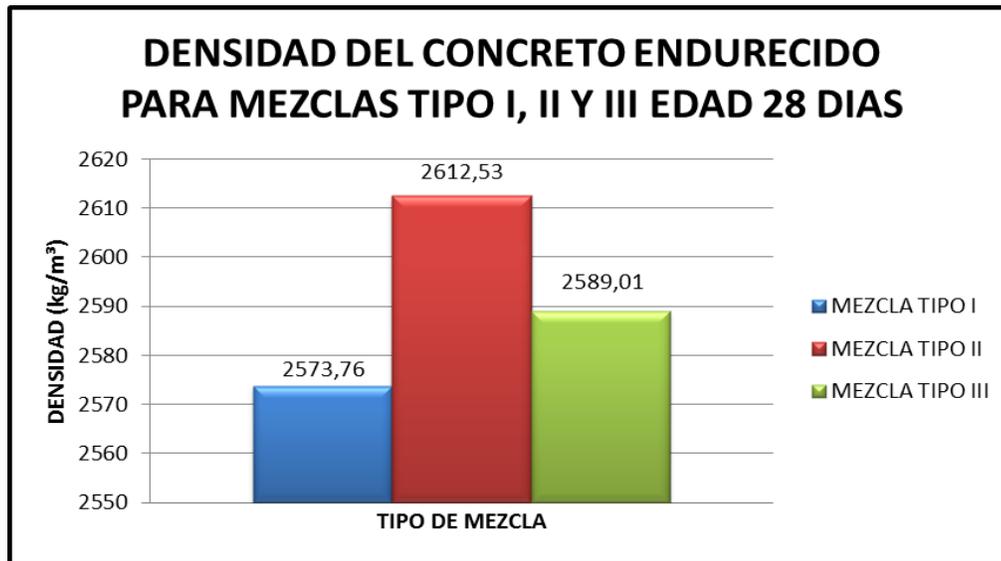


Gráfico 4.10: Gráfico comparativo de la densidad del concreto en estado endurecido entre los tres tipos de mezclas a la edad de 28 días
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para los 28 días de edad, las densidades de las mezclas con aditivos de tipo plastificante y superplastificante alcanzaron valores mayores a la mezcla patrón. Así, la mezcla tipo II alcanzó un valor de densidad de 2.612,53 kg/m³, mientras que la mezcla tipo III alcanzó un valor de 2.589,01 kg/m³

IV.10 Prueba de ultrasonido

IV.10.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):

IV.10.1.1 Edad 7 días

Tabla 4.37: Prueba de ultrasonido para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Altura (m)	Tiempo (μs)	Tiempo (s)	Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)	Calidad
1.1	20-sep-10	27-sep-10	29,90	0,30	74,90	7,49E-05	3.991,99	Bueno
1.2	20-sep-10	27-sep-10	30,42	0,30	74,50	7,45E-05	4.083,22	Bueno
1.3	20-sep-10	27-sep-10	30,25	0,30	75,70	7,57E-05	3.996,04	Bueno
1.4	20-sep-10	27-sep-10	30,15	0,30	76,50	7,65E-05	3.941,18	Bueno
1.5	20-sep-10	27-sep-10	30,52	0,31	76,80	7,68E-05	3.973,96	Bueno

Fuente: Elaboración propia

IV.10.1.2 Edad 14 días

Tabla 4.38: Prueba de ultrasonido para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Altura (m)	Tiempo (μs)	Tiempo (s)	Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)	Calidad
1.6	20-sep-10	04-oct-10	30,10	0,30	73,50	7,35E-05	4.095,24	Bueno
1.7	20-sep-10	04-oct-10	30,20	0,30	72,80	7,28E-05	4.148,35	Bueno
1.8	20-sep-10	04-oct-10	30,31	0,30	73,50	7,35E-05	4.123,81	Bueno
1.9	20-sep-10	04-oct-10	29,90	0,30	73,80	7,38E-05	4.051,49	Bueno
1.10	20-sep-10	04-oct-10	30,32	0,30	75,10	7,51E-05	4.037,28	Bueno

Fuente: Elaboración propia

IV.10.1.3 Edad 28 días

Tabla 4.39: Prueba de ultrasonido para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Altura (m)	Tiempo (μs)	Tiempo (s)	Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)	Calidad
1.11	20-sep-10	18-oct-10	30,50	0,31	75,70	7,57E-05	4.029,06	Bueno
1.12	20-sep-10	18-oct-10	30,52	0,31	76,40	7,64E-05	3.994,76	Bueno
1.13	20-sep-10	18-oct-10	30,45	0,30	76,50	7,65E-05	3.980,39	Bueno

Fuente: Elaboración propia

La velocidad del pulso ultrasónico en la mezcla tipo I presenta altos rangos. Esto permite hacer una inferencia sobre la calidad de las muestras, puesto que a mayor velocidad corresponde mayor homogeneidad de los concretos elaborados. De esta manera, por encontrarse cada una de las probetas en el rango de velocidades entre 3.660 m/s y 4.575 m/s, se puede clasificar a la mezcla tipo I en una condición general del concreto con calidad “bueno”.

IV.10.2 *Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):*

IV.10.2.1 Edad 7 días

Tabla 4.40: Prueba de ultrasonido para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Altura (m)	Tiempo (μs)	Tiempo (seg)	Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)	Calidad
2.1	20-sep-10	27-sep-10	30,33	0,30	73,80	7,38E-05	4.109,76	Bueno
2.2	20-sep-10	27-sep-10	30,06	0,30	73,80	7,38E-05	4.073,17	Bueno
2.3	20-sep-10	27-sep-10	30,31	0,30	74,50	7,45E-05	4.068,46	Bueno
2.4	20-sep-10	27-sep-10	30,22	0,30	75,40	7,54E-05	4.007,96	Bueno
2.5	20-sep-10	27-sep-10	30,32	0,30	73,70	7,37E-05	4.113,98	Bueno

Fuente: Elaboración propia

IV.10.2.2 Edad 14 días

Tabla 4.41: Prueba de ultrasonido para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Altura (m)	Tiempo (μs)	Tiempo (seg)	Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)	Calidad
2.6	20-sep-10	04-oct-10	30,10	0,30	75,10	7,51E-05	4.007,99	Bueno
2.7	20-sep-10	04-oct-10	30,05	0,30	71,50	7,15E-05	4.202,80	Bueno
2.8	20-sep-10	04-oct-10	30,30	0,30	74,70	7,47E-05	4.056,22	Bueno
2.9	20-sep-10	04-oct-10	30,60	0,31	71,00	7,10E-05	4.309,86	Bueno
2.10	20-sep-10	04-oct-10	30,55	0,31	72,50	7,25E-05	4.213,79	Bueno

Fuente: Elaboración propia

IV.10.2.3 Edad 28 días

Tabla 4.42: Prueba de ultrasonido para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Altura (m)	Tiempo (μs)	Tiempo (seg)	Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)	Calidad
2.11	20-sep-10	18-oct-10	30,30	0,30	76,40	7,64E-05	3.965,97	Bueno
2.12	20-sep-10	18-oct-10	30,42	0,30	76,50	7,65E-05	3.976,47	Bueno
2.13	20-sep-10	18-oct-10	30,26	0,30	73,40	7,34E-05	4.122,62	Bueno
2.14	20-sep-10	18-oct-10	30,44	0,30	76,50	7,65E-05	3.979,08	Bueno

Fuente: Elaboración propia

El rango de velocidades de la mezcla tipo II, se encuentra en las condiciones generales del concreto con calidad “bueno”. Esto hace que se hable de mayor homogeneidad en la mezcla y por supuesto, mayor densidad.

IV.10.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):

IV.10.3.1 Edad 7 días

Tabla 4.43: Prueba de ultrasonido para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Altura (m)	Tiempo (µs)	Tiempo (seg)	Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)	Calidad
3.1	20-sep-10	27-sep-10	30,72	0,31	75,7	7,57E-05	4.058,12	Bueno
3.2	20-sep-10	27-sep-10	30,52	0,31	78,50	7,85E-05	3.887,90	Bueno
3.3	20-sep-10	27-sep-10	30,21	0,30	76,40	7,64E-05	3.954,19	Bueno
3.4	20-sep-10	27-sep-10	30,34	0,30	75,70	7,57E-05	4.007,93	Bueno
3.5	20-sep-10	27-sep-10	30,30	0,30	77,60	7,76E-05	3.904,64	Bueno

Fuente: Elaboración propia

IV.10.3.2 Edad 14 días

Tabla 4.44: Prueba de ultrasonido para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Altura (m)	Tiempo (µs)	Tiempo (seg)	Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)	Calidad
3.6	20-sep-10	04-oct-10	30,22	0,30	75,60	7,56E-05	3.997,35	Bueno
3.7	20-sep-10	04-oct-10	30,18	0,30	72,60	7,26E-05	4.157,02	Bueno
3.8	20-sep-10	04-oct-10	30,54	0,310	74,40	7,44E-05	4.104,84	Bueno
3.9	20-sep-10	04-oct-10	30,33	0,30	73,50	7,35E-05	4.126,53	Bueno
3.10	20-sep-10	04-oct-10	30,27	0,30	72,70	7,27E-05	4.163,69	Bueno

Fuente: Elaboración propia

IV.10.3.3 Edad 28 días

Tabla 4.45: Prueba de ultrasonido para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Altura (cm)	Altura (m)	Tiempo (µs)	Tiempo (seg)	Velocidad de pulso ultrasónico (m/s)	Calidad
3.11	20-sep-10	18-oct-10	30,22	0,30	75,40	7,54E-05	4.007,96	Bueno
3.12	20-sep-10	18-oct-10	30,32	0,30	75,50	7,55E-05	4.015,89	Bueno
3.13	20-sep-10	18-oct-10	30,46	0,30	74,70	7,47E-05	4.077,64	Bueno
3.14	20-sep-10	18-oct-10	30,50	0,31	75,70	7,57E-05	4.029,06	Bueno

Fuente: Elaboración propia

El rango de velocidades según la clasificación hecha permite ubicar la calidad del concreto en “bueno”. Esto demuestra una vez más, la homogeneidad de la mezcla, pues en su mayoría, las probetas presentan para sus diferentes edades rangos de velocidad altos y con una buena correlación entre uno y otro.

- Comparación de mezclas Tipo I, II Y III: prueba de ultrasonido a la edad de 7 días.

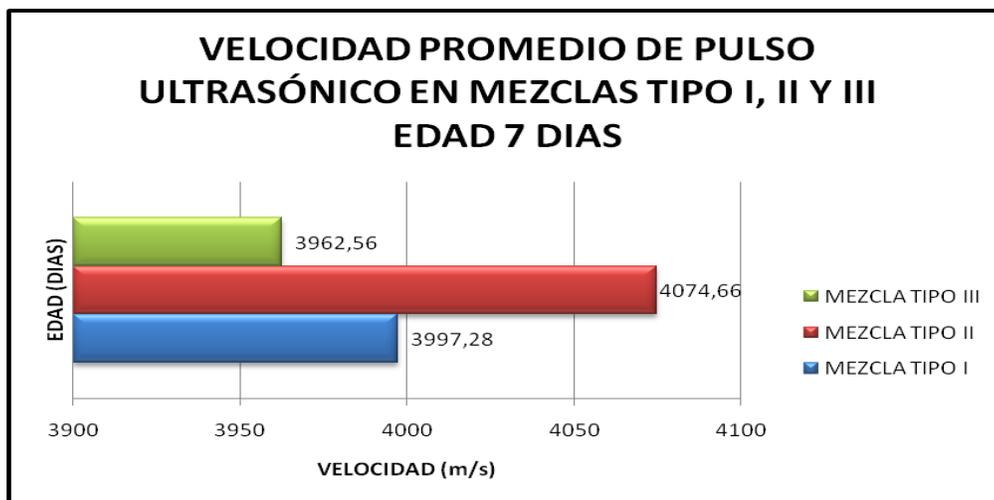


Gráfico 4.11: Gráfico comparativo de la prueba de ultrasonido entre los tres tipos de mezclas a la edad de 7 días

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en el gráfico como las velocidades a la edad de 7 días desarrollaron altos rangos. Así mismo, se puede decir que la mezclas tipo II y tipo III presentaron mayor homogeneidad con respecto a la mezcla patrón, puesto que sus velocidades fueron mucho mayores.

- Comparación de mezclas Tipo I, II Y III: prueba de ultrasonido a la edad de 14 días.

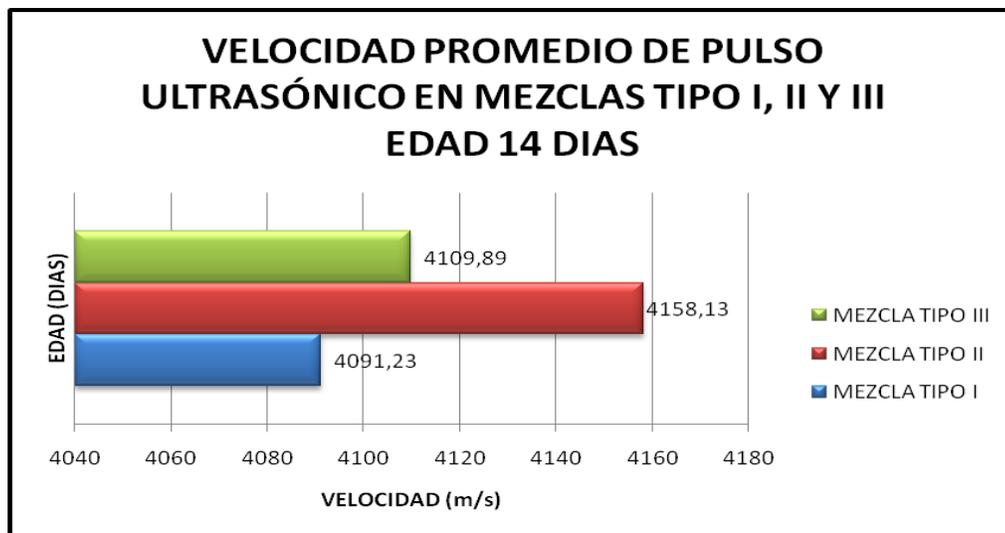


Gráfico 4.12: Gráfico comparativo de la prueba de ultrasonido entre los tres tipos de mezclas a la edad de 14 días
Fuente: Elaboración propia

La mezcla tipo II sigue teniendo velocidades mayores con respecto a la patrón. Sin embargo, la mezcla tipo III presenta rangos inferiores de velocidad con respecto a la patrón. Dicho comportamiento puede atribuirse a que quizás la compactación de los moldes no fue tan efectiva, quedando algunos vacíos. Cabe destacar que la variación entre ambas mezclas, tanto la patrón como la tipo III, no varía significativamente, pero para efectos de esta investigación, se toman los valores más representativos, lo que no hace menos importante la homogeneidad y calidad de cada una de las mezclas, las cuales a pesar de estas diferencias, todas se encuentran dentro de las condiciones generales del concreto con calidad “bueno”.

- Comparación de mezclas Tipo I, II Y III: prueba de ultrasonido a la edad de 28 días.

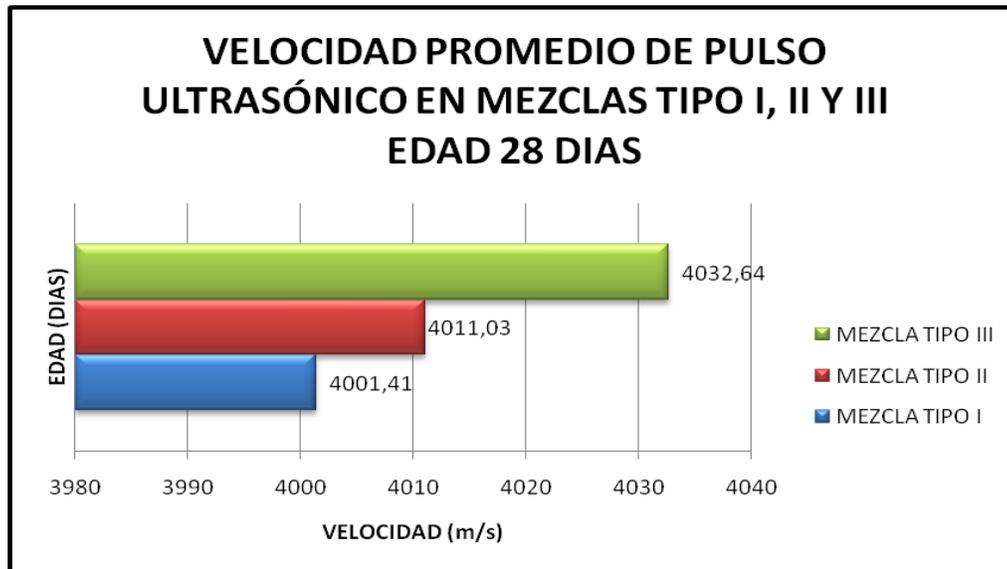


Gráfico 4.13: Gráfico comparativo de la prueba de ultrasonido entre los tres tipos de mezclas a la edad de 28 días
Fuente: Elaboración propia

Transcurridos ya los 28 días, las muestras contienen mayor humedad, lo que afecta notablemente la velocidad en cada mezcla. Para efectos de esta investigación, los resultados pierden un poco de correlación con respecto a las demás edades. La mezcla tipo I, presenta mayor velocidad que el resto de las mezclas con aditivos, pero a pesar de esto, todas las mezclas presentan una condición general del concreto con calidad “bueno”.

Otro punto que quizás pudo interferir en estos resultados se debe a que el equipo de ultrasonido no se encontraba completamente operativo. Para tomar las mediciones, se tenía que esperar a que el equipo encendiera por un tiempo corto, y luego dejarlo reposando, y así sucesivamente hasta lograr terminar con todas las lecturas.

IV.11 Prueba con el esclerómetro

IV.11.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):

IV.11.1.1 Edad 7 días

Tabla 4.46: Prueba con el esclerómetro para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Lectura Esclerómetro																				Indice promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1.1	20-sep-10	27-sep-10	34	36	34	34	36	34	34	36	34	36	36	36	34	36	36	34	36	36	34	36	35,10
1.2	20-sep-10	27-sep-10	36	34	36	36	34	38	36	32	34	36	32	34	36	32	34	36	30	34	34	32	34,30
1.3	20-sep-10	27-sep-10	38	34	34	36	36	38	34	36	34	34	36	34	36	34	36	36	30	32	30	34	34,60
1.4	20-sep-10	27-sep-10	36	34	34	36	36	36	38	38	36	34	34	36	34	34	32	34	32	36	32	32	34,70
1.5	20-sep-10	27-sep-10	36	34	30	38	34	34	36	34	36	36	36	36	34	30	34	32	32	34	36	32	34,20

Fuente: Elaboración propia

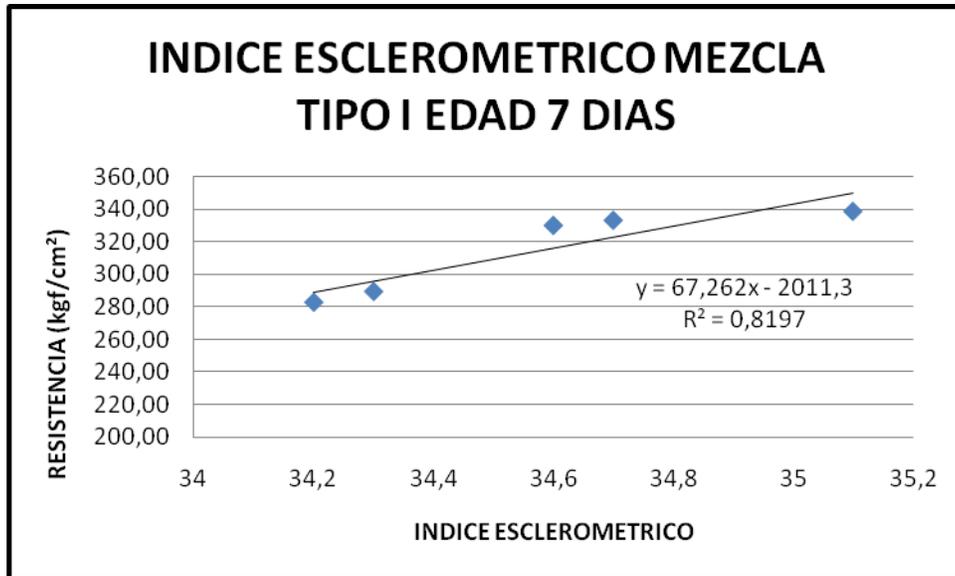


Gráfico 4.14: Gráfico de la resistencia vs el índice esclerométrico para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 7 días
 Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la distribución lineal de los índices esclerométricos con respecto a la resistencia a compresión de cada una de las probetas ensayadas. Donde se estableció la recta de mejor ajuste con un factor $R^2 = 0,8197$.

IV.11.1.2 Edad 14 días

Tabla 4.47: Prueba con el esclerómetro para la mezcla patón Tipo I a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Lectura Esclerómetro																				Indice promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1.6	20-sep-10	04-oct-10	38	36	38	38	38	36	36	38	38	38	36	36	38	36	38	40	38	40	38	36	37,50
1.7	20-sep-10	04-oct-10	38	40	38	40	46	42	38	38	38	40	44	38	36	34	38	38	36	36	38	38	38,70
1.8	20-sep-10	04-oct-10	40	38	38	38	36	38	40	40	40	40	40	40	40	36	40	40	36	38	38	36	38,60
1.9	20-sep-10	04-oct-10	36	38	38	40	40	38	38	40	38	38	40	36	38	38	36	38	36	38	40	38	38,10
1.10	20-sep-10	04-oct-10	38	38	40	38	40	40	38	40	40	40	40	40	38	40	40	42	42	34	36	38	39,10

Fuente: Elaboración propia

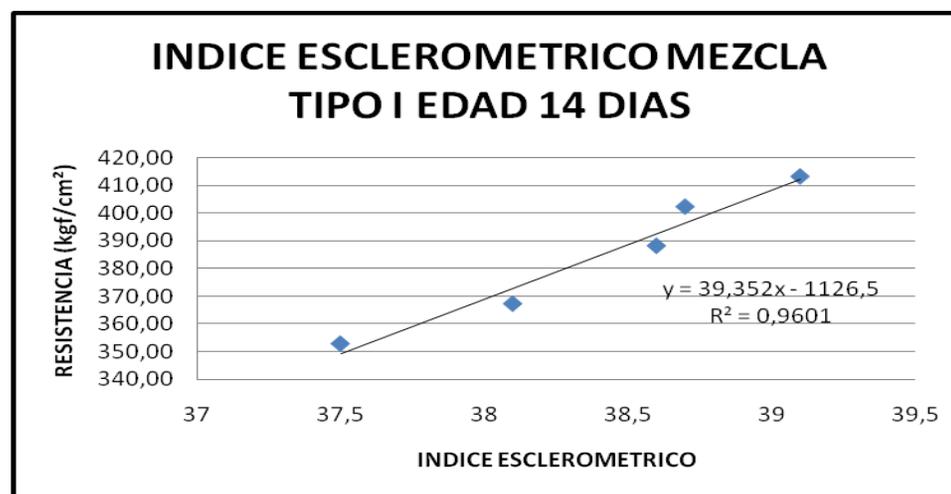


Gráfico 4.15: Gráfico de la resistencia vs el índice esclerométrico para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 14 días

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la distribución lineal de los índices esclerométricos con respecto a la resistencia a compresión de cada una de las probetas ensayadas. Donde se estableció la recta de mejor ajuste con un factor $R^2 = 0,9601$.

IV.11.1.3 Edad 28 días

Tabla 4.48: Prueba con el esclerómetro para la mezcla patón Tipo I a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Lectura Esclerómetro																				Indice promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1.11	20-sep-10	18-oct-10	38	38	38	40	40	40	38	40	40	38	38	38	40	38	38	40	36	38	36	38	38,50
1.12	20-sep-10	18-oct-10	36	38	40	38	40	40	38	38	40	38	40	38	38	38	38	38	40	38	40	38	38,60
1.13	20-sep-10	18-oct-10	40	40	38	40	38	40	40	40	38	40	38	40	38	40	38	40	38	40	38	40	39,10

Fuente: Elaboración propia

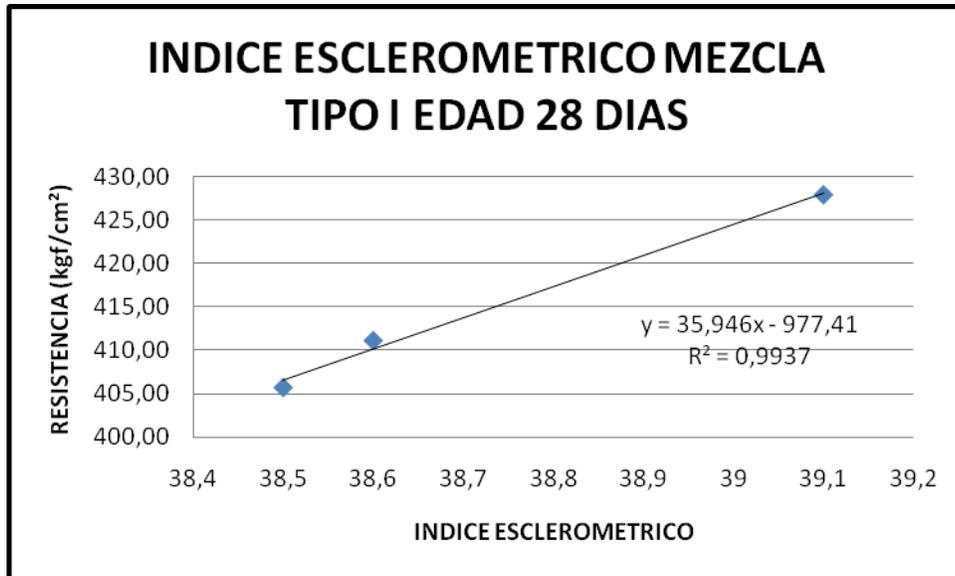


Gráfico 4.16: Gráfico de la resistencia vs el índice esclerométrico para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 28 días
 Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la distribución lineal de los índices esclerométricos con respecto a la resistencia a compresión de cada una de las probetas ensayadas. Donde se estableció la recta de mejor ajuste con un factor $R^2 = 0,9937$.

IV.11.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):

IV.11.2.1 Edad 7 días

Tabla 4.49: Prueba con el esclerómetro para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Lectura Esclerómetro																				Indice promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2.1	20-sep-10	27-sep-10	40	42	40	38	40	42	40	40	40	38	38	40	40	38	38	36	36	38	40	36	39,00
2.2	20-sep-10	27-sep-10	34	40	40	36	36	40	40	42	40	38	40	38	36	38	42	40	38	38	40	36	38,60
2.3	20-sep-10	27-sep-10	40	42	38	36	40	38	36	40	36	40	40	36	38	38	38	38	40	40	40	40	38,70
2.4	20-sep-10	27-sep-10	40	42	36	36	40	40	36	38	36	36	36	40	38	38	40	38	40	38	38	38	38,20
2.5	20-sep-10	27-sep-10	40	38	38	36	42	38	38	36	38	38	40	38	40	38	36	36	42	34	36	36	37,90

Fuente: Elaboración propia

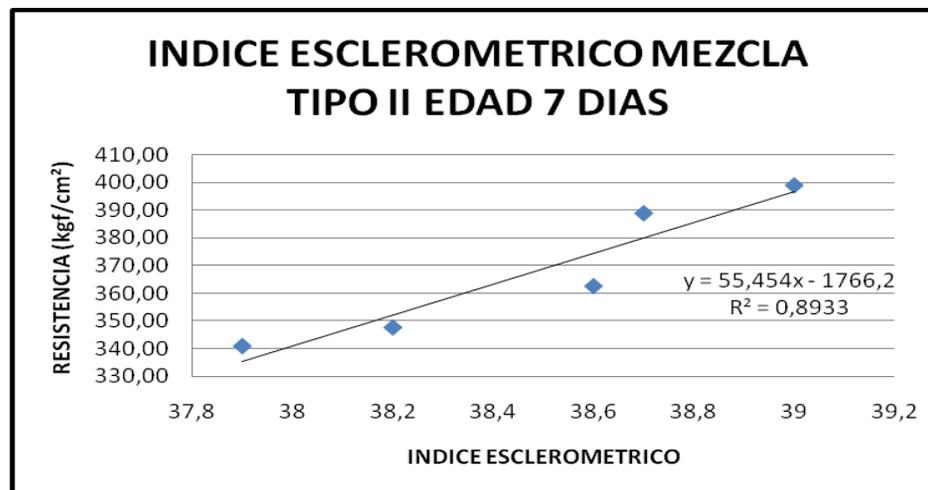


Gráfico 4.17: Gráfico de la resistencia vs el índice esclerométrico para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 7 días
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la distribución lineal de los índices esclerométricos con respecto a la resistencia a compresión de cada una de las probetas ensayadas. Así mismo, se estableció la recta de mejor ajuste con un factor $R^2 = 0,8933$.

IV.11.2.2 Edad 14 días

Tabla 4.50: Prueba con el esclerómetro para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Lectura Esclerómetro																				Indice promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2.6	20-sep-10	04-oct-10	40	38	36	40	38	40	42	40	40	42	40	42	42	42	42	38	40	38	36	38	39,70
2.7	20-sep-10	04-oct-10	42	38	40	42	42	38	40	40	42	42	40	40	40	40	38	42	40	42	38	36	40,10
2.8	20-sep-10	04-oct-10	42	42	44	40	42	42	40	42	44	40	42	44	40	42	42	44	40	40	40	40	41,60
2.9	20-sep-10	04-oct-10	36	36	34	42	40	42	40	42	42	40	38	44	40	42	42	40	40	42	40	40	40,10
2.10	20-sep-10	04-oct-10	40	40	40	42	42	38	42	40	38	40	42	42	42	40	40	40	38	38	38	40	40,10

Fuente: Elaboración propia

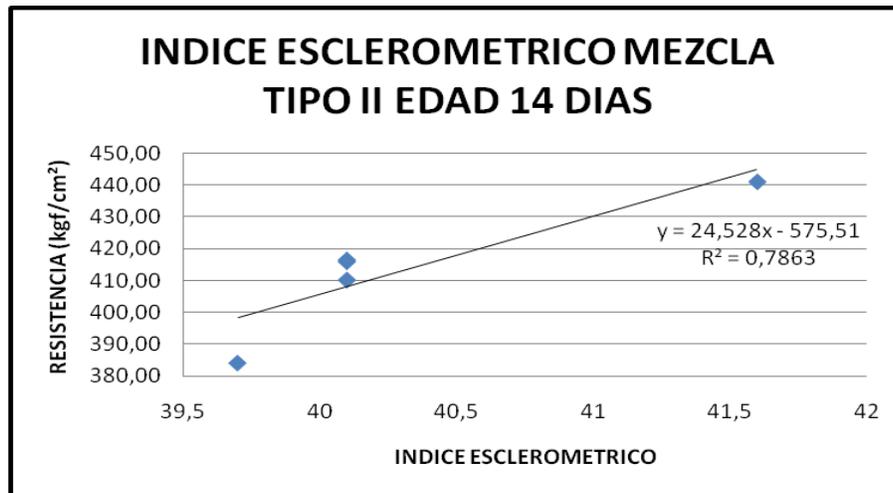


Gráfico 4.18: Gráfico de la resistencia vs el índice esclerométrico para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 14 días
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la distribución lineal de los índices esclerométricos con respecto a la resistencia a compresión de cada una de las probetas ensayadas. Así mismo, se estableció la recta de mejor ajuste con un factor $R^2 = 0,7863$.

IV.11.2.3 Edad 28 días

Tabla 4.51: Prueba con el esclerómetro para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Lectura Esclerómetro																				Indice promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
2.11	20-sep-10	18-oct-10	40	42	40	42	42	38	42	42	40	40	38	36	40	40	42	42	42	42	40	40	40,50
2.12	20-sep-10	18-oct-10	40	40	38	44	38	44	42	40	38	42	42	40	38	42	42	42	44	40	42	42	41,00
2.13	20-sep-10	18-oct-10	42	40	38	38	42	40	44	44	44	38	40	42	42	38	40	42	38	38	38	42	40,50
2.14	20-sep-10	18-oct-10	36	36	38	38	40	42	38	36	40	40	40	40	40	38	38	38	36	42	40	42	38,90

Fuente: Elaboración propia

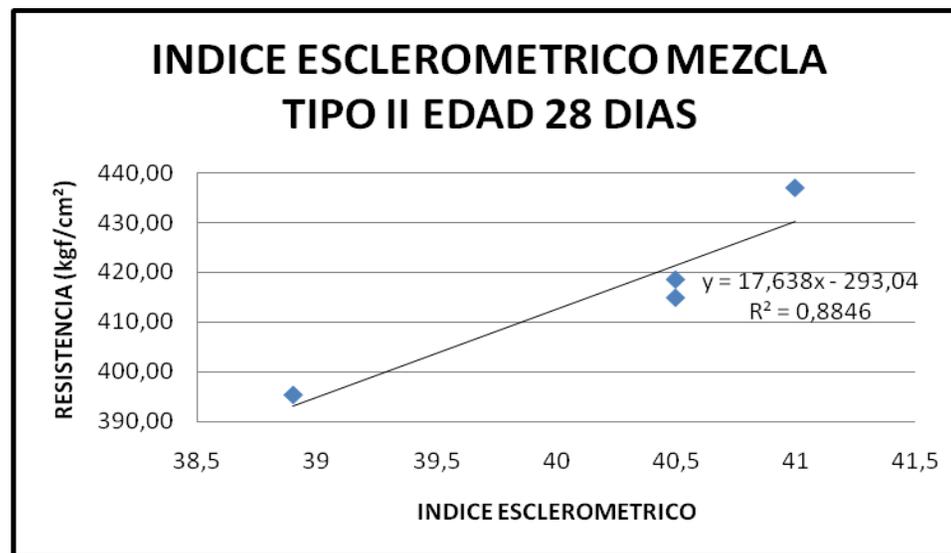


Gráfico 4.19: Gráfico de la resistencia vs el índice esclerométrico para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 28 días

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la distribución lineal de los índices esclerométricos con respecto a la resistencia a compresión de cada una de las probetas ensayadas. Así mismo, se estableció la recta de mejor ajuste con un factor $R^2 = 0,8846$.

V.11.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):

IV.11.3.1 Edad 7 días

Tabla 4.52: Prueba con el esclerómetro para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Lectura Esclerómetro																				Indice promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
3.1	20-sep-10	27-sep-10	36	38	36	38	36	36	38	36	32	36	36	34	36	38	34	38	36	30	34	30	35,40
3.2	20-sep-10	27-sep-10	36	36	34	34	36	38	38	36	36	36	36	30	34	38	36	36	38	32	36	30	35,30
3.3	20-sep-10	27-sep-10	34	34	36	34	34	36	34	36	36	34	36	36	32	36	36	36	34	36	36	36	35,10
3.4	20-sep-10	27-sep-10	38	32	38	36	36	38	36	38	38	36	36	36	36	36	36	38	36	36	32	32	36,00
3.5	20-sep-10	27-sep-10	34	34	30	38	36	36	36	34	36	36	38	34	36	38	36	36	38	34	38	38	35,80

Fuente: Elaboración propia

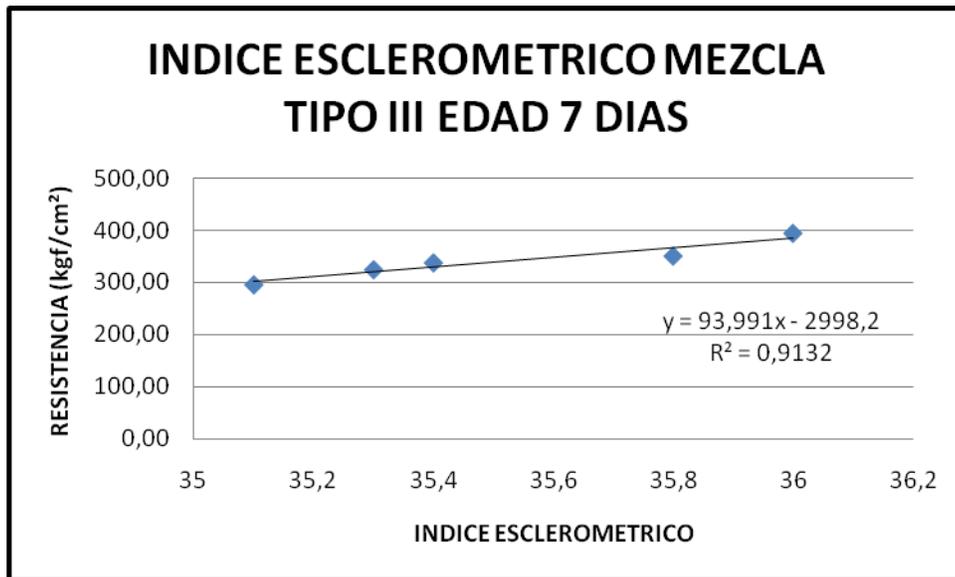


Gráfico 4.20: Gráfico de la resistencia vs el índice esclerométrico para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 7 días
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la distribución lineal de los índices esclerométricos con respecto a la resistencia a compresión de cada una de las probetas ensayadas. Así mismo, se estableció la recta de mejor ajuste con un factor $R^2 = 0,9132$.

IV.11.3.2 Edad 14 días

Tabla 4.53: Prueba con el esclerómetro para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Lectura Esclerómetro																				Indice promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
3.6	20-sep-10	04-oct-10	40	40	38	38	40	36	36	40	38	36	40	42	40	42	42	40	38	40	40	36	39,10
3.7	20-sep-10	04-oct-10	38	40	40	38	42	40	40	40	38	40	40	38	42	40	38	40	38	38	40	40	39,50
3.8	20-sep-10	04-oct-10	38	38	40	38	38	36	34	38	38	40	40	40	40	40	42	38	40	36	38	38	38,50
3.9	20-sep-10	04-oct-10	40	38	38	40	38	38	40	36	38	36	36	38	40	38	38	40	40	40	38	38	38,40
3.10	20-sep-10	04-oct-10	40	40	38	38	40	40	40	38	42	42	40	38	40	42	40	40	42	42	40	38	40,00

Fuente: Elaboración propia

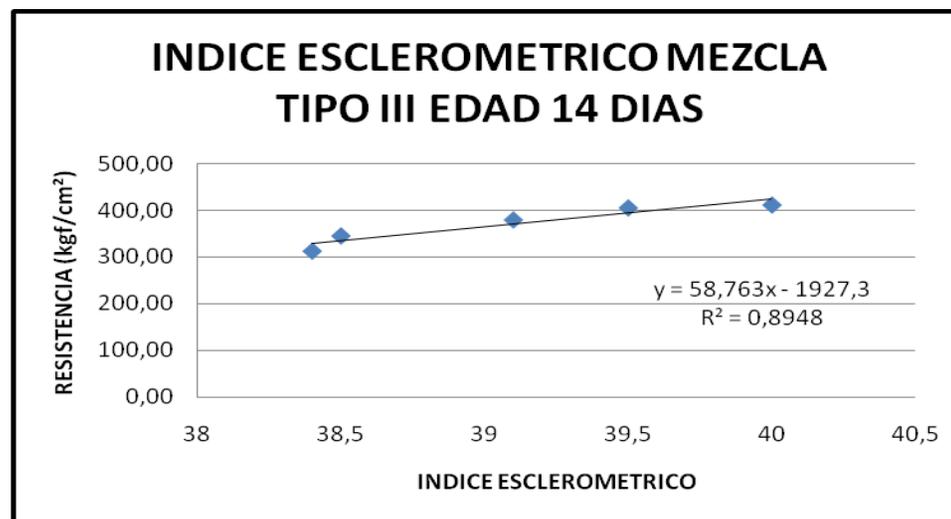


Gráfico 4.21: Gráfico de la resistencia vs el índice esclerométrico para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 14 días

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la distribución lineal de los índices esclerométricos con respecto a la resistencia a compresión de cada una de las probetas ensayadas. Así mismo, se estableció la recta de mejor ajuste con un factor $R^2 = 0,8948$.

IV.11.3.3 Edad 28 días

Tabla 4.54: Prueba con el esclerómetro para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	Lectura Esclerómetro																				Indice promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
3.11	20-sep-10	18-oct-10	42	38	38	38	38	40	40	40	38	40	38	40	42	40	40	42	40	40	38	36	39,40
3.12	20-sep-10	18-oct-10	42	40	38	38	38	38	40	40	38	38	40	40	42	40	42	38	42	40	42	42	39,90
3.13	20-sep-10	18-oct-10	38	36	38	40	40	40	38	40	38	40	40	40	42	40	42	38	40	40	42	42	39,70
3.14	20-sep-10	18-oct-10	42	42	40	44	38	38	40	42	40	42	38	42	42	42	40	40	42	40	42	40	40,80

Fuente: Elaboración propia

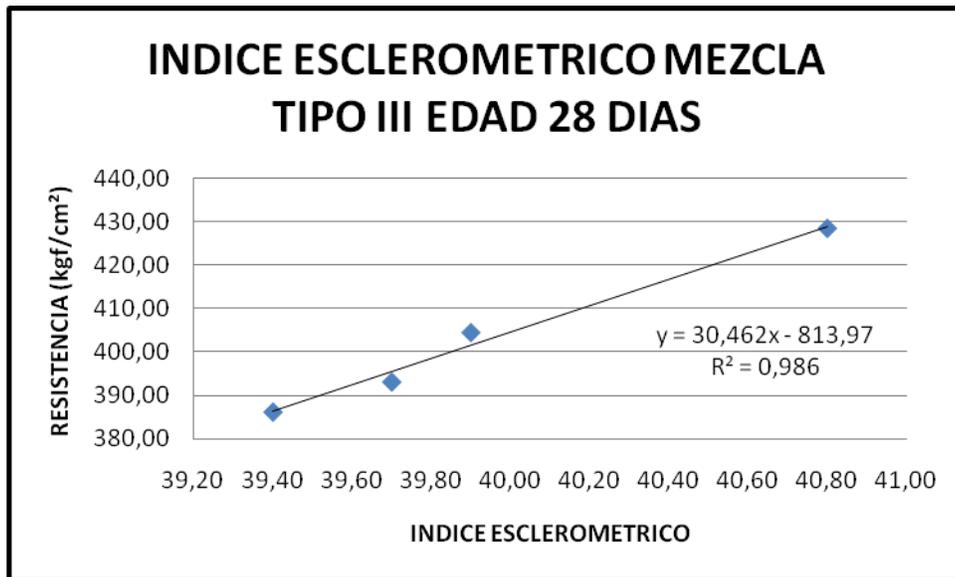


Gráfico 4.22: Gráfico de la resistencia vs el índice esclerométrico para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 28 días
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar la distribución lineal de los índices esclerométricos con respecto a la resistencia a compresión de cada una de las probetas ensayadas. Así mismo, se estableció la recta de mejor ajuste con un factor $R^2 = 0,986$.

IV.12 Ensayo de resistencia a la compresión

IV.12.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):

IV.12.1.1 Edad 7 días

Tabla 4.55: Ensayo de resistencia a la compresión para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Carga Máx. (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Resist. a Comp. (kgf/cm ²)	Resist. a Comp. Promedio (kgf/cm ²)
1.1	20-sep-10	27-sep-10	15,05	15,09	15,07	29,9	14,03	60.374,00	341,65	178,37	338,48	314,64
1.2	20-sep-10	27-sep-10	15,04	15,09	15,07	30,42	14,07	51.561,00	291,77	178,25	289,26	
1.3	20-sep-10	27-sep-10	15,03	15,07	15,05	30,25	14,08	58.675,00	332,03	177,89	329,83	
1.4	20-sep-10	27-sep-10	15,00	15,03	15,02	30,15	14,05	58.959,00	333,64	177,07	332,97	
1.5	20-sep-10	27-sep-10	15,08	15,00	15,04	30,52	14,16	50.212,00	384,14	177,66	282,63	

Fuente: Elaboración propia

IV.12.1.2 Edad 14 días

Tabla 4.56: Ensayo de resistencia a la compresión para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Carga Máx. (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Resist. a Comp. (kgf/cm ²)	Resist. a Comp. Promedio (kgf/cm ²)
1.6	20-sep-10	04-oct-10	15,06	15,02	15,04	30,1	13,96	62.657,00	354,56	177,66	352,68	384,59
1.7	20-sep-10	04-oct-10	14,97	14,92	14,95	30,2	13,97	70.541,00	399,18	175,42	402,12	
1.8	20-sep-10	04-oct-10	15,03	15,07	15,05	30,31	14,18	69.026,00	390,61	177,89	388,02	
1.9	20-sep-10	04-oct-10	15,05	15,03	15,04	29,9	13,87	65.221,00	369,08	177,66	367,11	
1.10	20-sep-10	04-oct-10	15,05	15,07	15,06	30,32	13,99	73.574,00	416,35	178,13	413,03	

Fuente: Elaboración propia

IV.12.1.3 Edad 28 días

Tabla 4.58: Tabla 4.59: Ensayo de resistencia a la compresión para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Carga Máx. (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Resist. a Comp. (kgf/cm ²)	Resist. a Comp. Promedio (kgf/cm ²)
1.11	20-sep-10	18-oct-10	15,2	15,07	15,14	30,5	14,12	72.983,00	413	179,91	405,66	414,88
1.12	20-sep-10	18-oct-10	15,1	15,1	15,1	30,52	14,07	73.615,00	416,58	179,08	411,08	
1.13	20-sep-10	18-oct-10	15,1	15,02	15,06	30,45	13,96	76.221,00	431,32	178,13	427,89	

Fuente: Elaboración propia

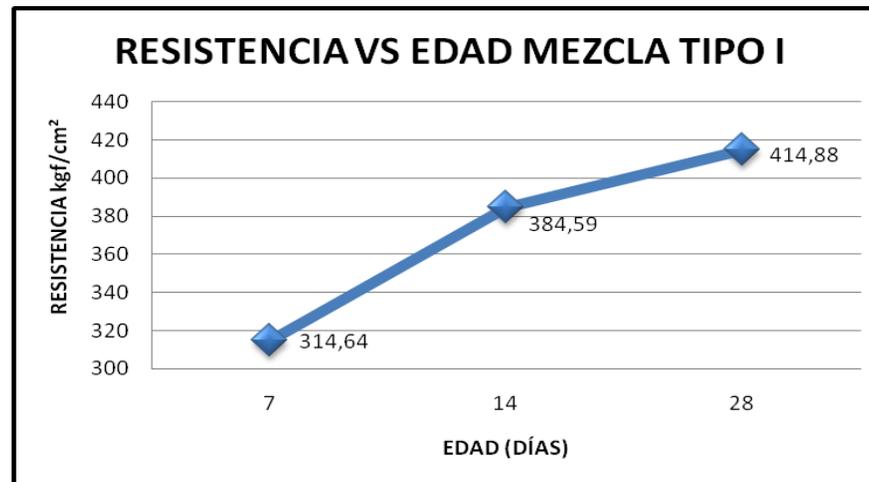


Gráfico 4.23: Gráfico de resistencia a la compresión vs la edad de la mezcla patrón Tipo I
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar como la resistencia para la mezcla tipo I fue aumentando progresivamente con el tiempo. Para la edad de 7 días, la resistencia promedio a compresión fue de 314,64 kgf/cm², representando más del 75% de la resistencia total alcanzada a los 28 días. Por su parte, ya a los 14 días la mezcla había desarrollado una resistencia a compresión de 384,59 kgf/cm², representando más del 92% de la resistencia total. Para los 28 días la resistencia promedio a compresión fue de 414,88 kgf/cm². De esta manera, se corrobora la calidad del concreto elaborado, donde en todas las edades dio un valor mucho mayor a la resistencia teórica, la cual es de 280 kgf/cm². Esto puede atribuirse al tipo de cemento utilizado para la mezcla, el cual es tipo III, de alta resistencia.

IV.12.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):

IV.12.2.1 Edad 7 días

Tabla 4.60: Tabla 4.61: Ensayo de resistencia a la compresión para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Carga Máx. (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Resist. a Comp. (kgf/cm ²)	Resist. a Comp. Promedio (kgf/cm ²)
2.1	20-sep-10	27-sep-10	14,92	14,98	14,95	30,33	14,06	70.017,00	396,22	175,54	398,87	367,69
2.2	20-sep-10	27-sep-10	14,98	15,05	15,02	30,06	14,07	64.182,00	363,2	177,07	362,47	
2.3	20-sep-10	27-sep-10	15	15,01	15,01	30,31	14,22	68.750,00	389,05	176,83	388,79	
2.4	20-sep-10	27-sep-10	15,06	15,05	15,06	30,22	13,98	61.865,00	350,09	178,01	347,53	
2.5	20-sep-10	27-sep-10	15,07	15,11	15,09	30,32	14,17	60.946,00	344,88	178,84	340,78	

Fuente: Elaboración propia

IV.12.2.2 Edad 14 días

Tabla 4.62: Ensayo de resistencia a la compresión para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Carga Máx. (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Resist. a Comp. (kgf/cm ²)	Resist. a Comp. Promedio (kgf/cm ²)
2.6	20-sep-10	04-oct-10	15,02	15,04	15,03	30,1	14,03	68.117,00	385,47	177,42	383,93	413,46
2.7	20-sep-10	04-oct-10	15,14	15,07	15,11	30,05	14,15	74.519,00	421,69	179,2	415,85	
2.8	20-sep-10	04-oct-10	14,97	14,9	14,94	30,3	13,99	77.264,00	437,22	175,19	441,04	
2.9	20-sep-10	04-oct-10	15,04	15,02	15,03	30,6	13,93	72.758,00	411,73	177,42	410,08	
2.10	20-sep-10	04-oct-10	14,99	15	15	30,55	14,05	73.539,00	416,14	176,6	416,42	

Fuente: Elaboración propia

IV.12.2.3 Edad 28 días

Tabla 4.63: Ensayo de resistencia a la compresión para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Carga Máx. (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Resist. a Comp. (kgf/cm ²)	Resist. a Comp. Promedio (kgf/cm ²)
2.11	20-sep-10	18-oct-10	15,13	15,06	15,1	30,3	14,13	74.250,00	420,17	178,96	414,9	416,45
2.12	20-sep-10	18-oct-10	15,07	15,07	15,07	30,42	14,1	77.962,00	441,18	178,37	437,09	
2.13	20-sep-10	18-oct-10	15,1	15,02	15,06	30,26	14,16	74.560,00	421,92	178,13	418,57	
2.14	20-sep-10	18-oct-10	15,05	15,06	15,06	30,44	14,19	70.361,00	398,16	178,01	395,26	

Fuente: Elaboración propia

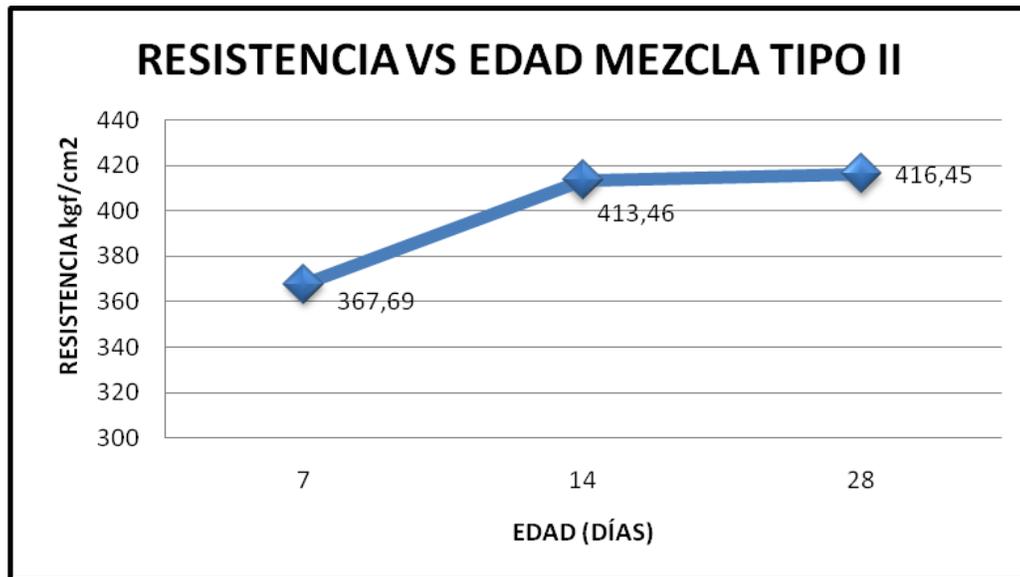


Gráfico 4.24: Gráfico de resistencia a la compresión vs la edad de la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II
Fuente: Elaboración propia

En la mezcla tipo II, la resistencia alcanzó grandes valores de acuerdo a cada edad, mostrando un aumento progresivo en la resistencia a compresión respectivamente. A los 7 días la mezcla alcanzó más del 88% de la resistencia a compresión obtenida a los 28 días, con un valor de 367,69 kgf/cm². Ya a los 14 días alcanzó casi la totalidad de la resistencia, con un desarrollo del 99%. Para los 28 días la resistencia fue de 416,45 kgf/cm². La desviación significativa que se puede apreciar con respecto a la resistencia teórica, puede atribuirse al tipo de cemento utilizado, el cual fue tipo III de alta resistencia y la acción del aditivo superplastificante.

IV.12.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):

IV.12.3.1 Edad 7 días

Tabla 4.64: Ensayo de resistencia a la compresión para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 7 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Carga Máx. (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Resist. a Comp. (kgf/cm ²)	Resist. a Comp. Promedio (kgf/cm ²)
3.1	20-sep-10	27-sep-10	14,97	15,02	15,00	30,72	13,89	59.584,00	337,18	176,60	337,40	340,34
3.2	20-sep-10	27-sep-10	14,91	14,96	14,94	30,52	13,78	56.808,00	321,46	175,19	324,27	
3.3	20-sep-10	27-sep-10	14,89	14,97	14,93	30,21	13,84	51.700,00	292,56	175,07	295,31	
3.4	20-sep-10	27-sep-10	15,05	15,10	15,08	30,54	13,88	70.364,00	398,11	178,49	394,23	
3.5	20-sep-10	27-sep-10	15,15	15,21	15,18	30,30	14,20	63.432,00	358,95	180,98	350,49	

Fuente: Elaboración propia

IV.12.3.2 Edad 14 días

Tabla 4.65: Ensayo de resistencia a la compresión para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 14 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Carga Máx. (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Resist. a Comp. (kgf/cm ²)	Resist. a Comp. Promedio (kgf/cm ²)
3.6	20-sep-10	04-oct-10	15,11	15,08	15,10	30,22	13,98	67.838,00	383,88	178,96	379,07	370,32
3.7	20-sep-10	04-oct-10	15,06	15,09	15,08	30,18	14,02	72.282,00	409,03	178,49	404,97	
3.8	20-sep-10	04-oct-10	15,09	15,06	15,08	30,54	14,03	61.507,00	348,06	178,49	344,60	
3.9	20-sep-10	04-oct-10	15,02	14,96	14,99	30,33	13,85	55.032,00	311,42	176,48	311,83	
3.10	20-sep-10	04-oct-10	14,90	14,91	14,91	30,27	13,82	71.733,00	405,93	174,48	411,12	

Fuente: Elaboración propia

IV.12.3.3 Edad 28 días

Tabla 4.66: Ensayo de resistencia a la compresión para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 28 días

N° Campo	Fecha Elaboración	Fecha Ensayo	D1 (cm)	D2 (cm)	D Promedio (cm)	Altura (cm)	Peso (kgs)	Carga Máx. (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Área Sec. Transv. (cm ²)	Resist. a Comp. (kgf/cm ²)	Resist. a Comp. Promedio (kgf/cm ²)
3.11	20-sep-10	18-oct-10	14,90	14,82	14,86	30,22	13,73	66.977,00	379,01	173,43	386,19	403,01
3.12	20-sep-10	18-oct-10	15,02	15,16	15,09	30,32	14,09	72.329,00	409,30	178,84	404,43	
3.13	20-sep-10	18-oct-10	15,20	15,08	15,14	30,46	14,11	70.764,00	400,44	180,03	393,07	
3.14	20-sep-10	18-oct-10	15,05	15,00	15,03	30,50	13,87	75.948,00	429,78	177,30	428,35	

Fuente: Elaboración propia

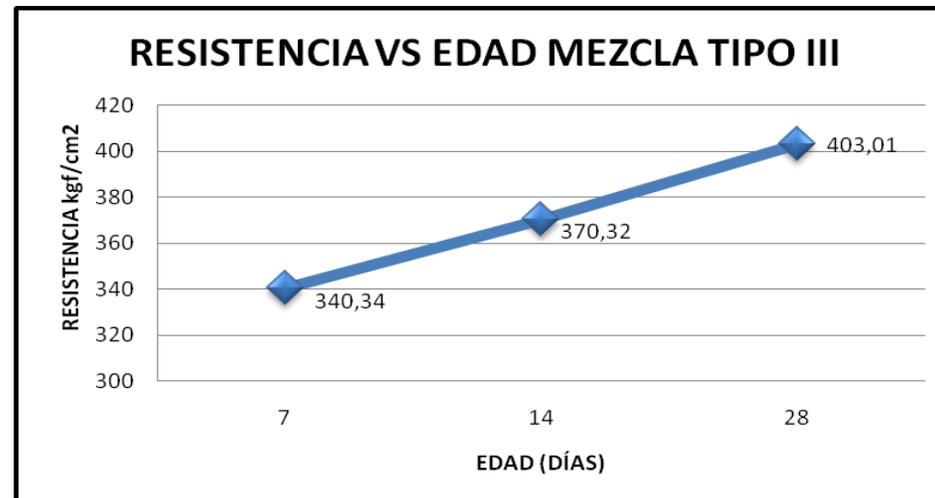


Gráfico 4.25: Gráfico de resistencia a la compresión vs la edad de la mezcla con aditivo superplastificante Tipo III

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente gráfico puede observarse el incremento de resistencia con el paso del tiempo. El 84% de la resistencia a compresión fue desarrollada en los primeros 7 días, con un valor de 340,34 kgf/cm², mientras que más del 91% de resistencia fue alcanzada a los 14 días. Para los 28 días, la resistencia alcanzada fue de 403,01 kgf/cm². A pesar de este descenso de resistencia, el concreto alcanzó valores de aumento progresivo gracias al tipo de cemento utilizado, tipo III de alta resistencia.

- Comparación de mezclas Tipo I, II y III: resistencia a compresión a la de edad 7 días

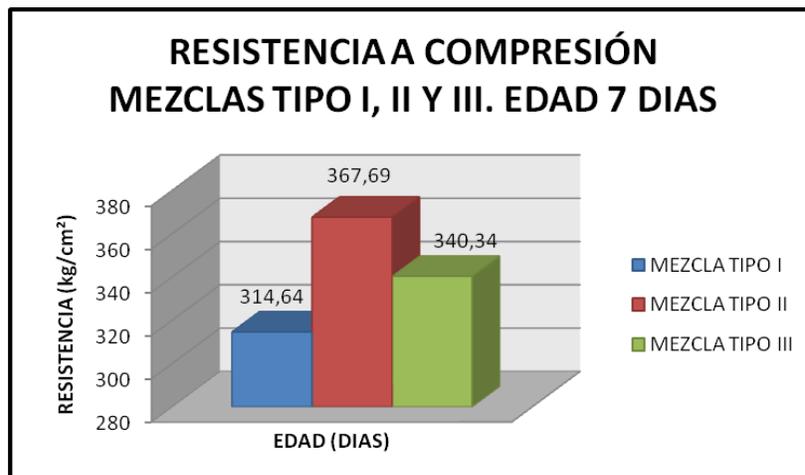


Gráfico 4.26: Gráfico comparativo entre el valor de la resistencia a la compresión vs la edad de los 7 días para los tres tipos de mezcla
Fuente: Elaboración propia

Como se pudo observar, las resistencias a compresión de cada una de las mezclas alcanzaron grandes valores de desarrollo a los 7 días, con más del 75% de la resistencia final, lo que permite predecir el comportamiento de las mismas en las próximas edades. En este caso, las mezclas con aditivo superplastificante y plastificante, adquirieron valores de resistencia mayores a la patrón.

- Comparación de mezclas Tipo I, II y III: resistencia a compresión a la de edad 14 días

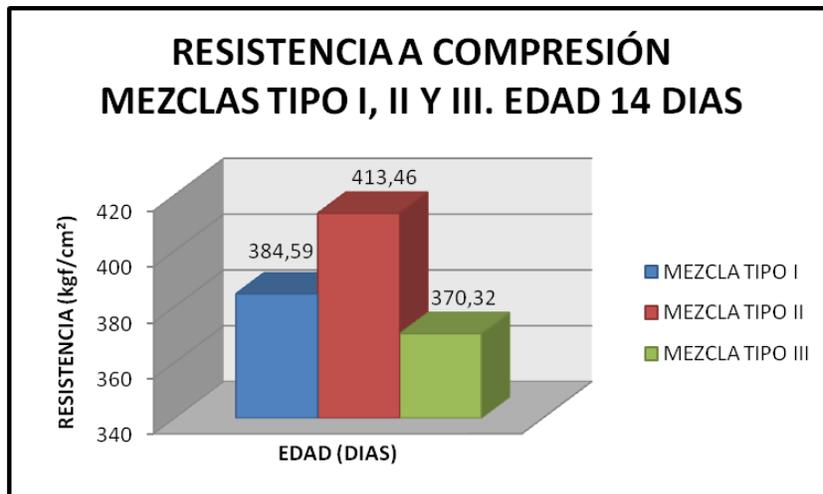


Gráfico 4.27: Gráfico comparativo entre el valor de la resistencia a la compresión vs la edad de los 14 días para los tres tipos de mezcla
Fuente: Elaboración propia

A esta edad, las mezclas desarrollaron más del 90% de su resistencia total. Se puede observar como la mezcla tipo II obtuvo mayor resistencia que la mezcla patrón, mientras que la mezcla tipo III no alcanzó sobrepasarla.

- Comparación de mezclas Tipo I, II y III: resistencia a compresión a la de edad 28 días

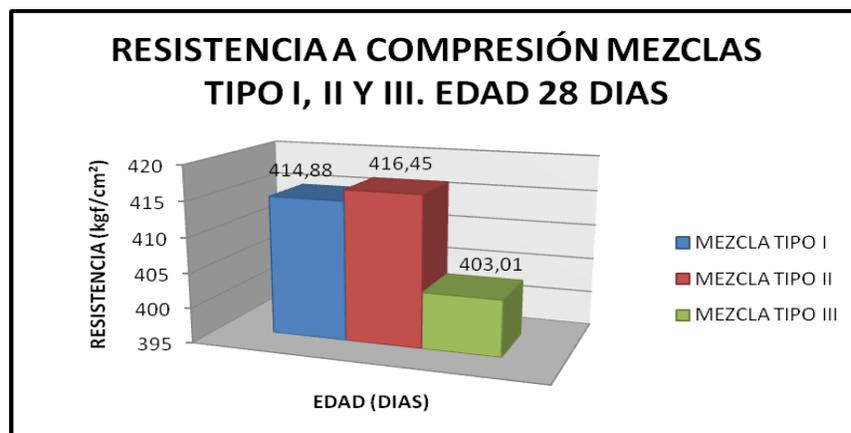


Gráfico 4.28: Gráfico comparativo entre el valor de la resistencia a la compresión vs la edad de los 28 días para los tres tipos de mezcla
Fuente: Elaboración propia

A los 28 días se puede considerar la resistencia total alcanzada por cada una de las mezclas. De esta manera, la mezcla tipo II alcanzó mayor valor de resistencia que la mezcla patrón, mientras que la mezcla tipo III no pudo superarla.

V.13 Módulo de elasticidad

IV.13.1 Mezcla patrón (Mezcla Tipo I):

IV.13.1.1 Edad 28 días

A la muestra utilizada previo a la realización del ensayo, se le tomaron las siguientes mediciones:

Tabla 4.67: Características de la probeta con mezcla patrón Tipo I a la edad de 28 días

DIAMETRO PROM (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)
15,04	20,41	177,54

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.68: Deformación Unitaria para la mezcla patrón Tipo I a la edad de 28 días

CARGA (kg)	LECTURA DE FLEXIMETRO			Deformación (mm)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación unitaria	Deformación Unitaria (x 10 ⁻⁵)
	L1	L2	L3				
0	5	21	71	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00
3.000	30	40	73	2,00E-03	1,69E+01	9,80E-06	0,98
6.000	53	64	86	1,50E-02	3,38E+01	7,35E-05	7,35
9.000	75	85	105	3,40E-02	5,07E+01	1,67E-04	16,66
12.000	95	104	122	5,10E-02	6,76E+01	2,50E-04	24,99
15.000	115	120	136	6,50E-02	8,45E+01	3,19E-04	31,85
18.000	133	136	154	8,30E-02	1,01E+02	4,07E-04	40,67
21.000	150	150	170	9,90E-02	1,18E+02	4,85E-04	48,51
24.000	163	161	185	1,14E-01	1,35E+02	5,59E-04	55,86
27.000	175	174	200	1,29E-01	1,52E+02	6,32E-04	63,21
30.000	176	185	215	1,44E-01	1,69E+02	7,06E-04	70,57

Fuente: Elaboración propia

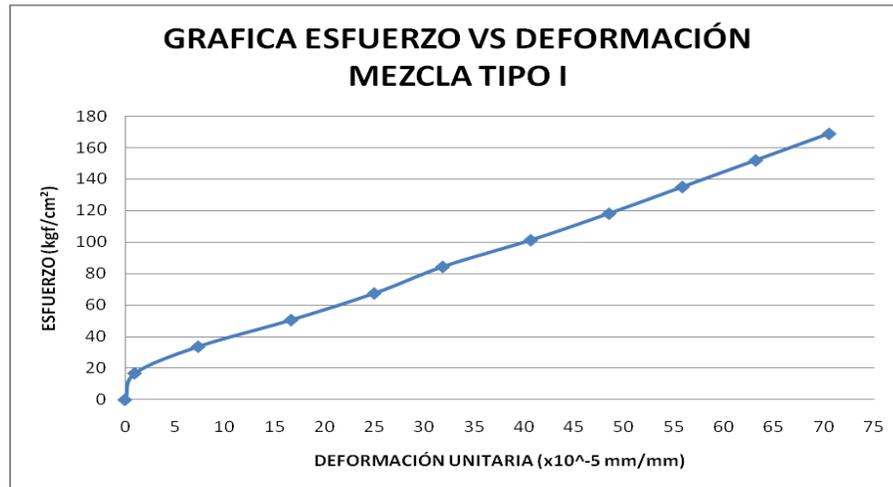


Gráfico 4.29: Gráfico de esfuerzo vs deformación unitaria a la edad de 28 días para la mezcla patón tipo I
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.69:

Sd	Sc	Ec	E
27,56	168,98	70,57	215.686,78

Fuente: Elaboración propia

IV.13.2 Mezcla con aditivo superplastificante (Mezcla Tipo II):

IV.13.2.1 Edad 28 días

A la muestra utilizada previo a la realización del ensayo, se le tomaron las siguientes mediciones:

Tabla 4.70: Características de la probeta con mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 28 días

DIAMETRO PROM (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)
15,125	20,50	179,67

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.71: Deformación Unitaria para la mezcla con aditivo superplastificante Tipo II a la edad de 28 días

CARGA (kg)	LECTURA DE FLEXIMETRO			Deformación (mm)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación unitaria	Deformación Unitaria (x 10 ⁻⁵)
	L1	L2	L3				
0	105	127	162	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00
3.000	140	160	173	1,10E-02	1,67E+01	5,37E-05	5,37
6.000	170	175	200	3,80E-02	3,34E+01	1,85E-04	18,54
9.000	200	205	224	6,20E-02	5,01E+01	3,02E-04	30,24
12.000	234	225	243	8,10E-02	6,68E+01	3,95E-04	39,51
15.000	255	247	260	9,80E-02	8,35E+01	4,78E-04	47,80
18.000	274	259	275	1,13E-01	1,00E+02	5,51E-04	55,12
21.000	294	273	293	1,31E-01	1,17E+02	6,39E-04	63,90
24.000	310	290	305	1,43E-01	1,34E+02	6,98E-04	69,76
27.000	320	295	315	1,53E-01	1,50E+02	7,46E-04	74,63
30.000	330	311	327	1,65E-01	1,67E+02	8,05E-04	80,49

Fuente: Elaboración propia

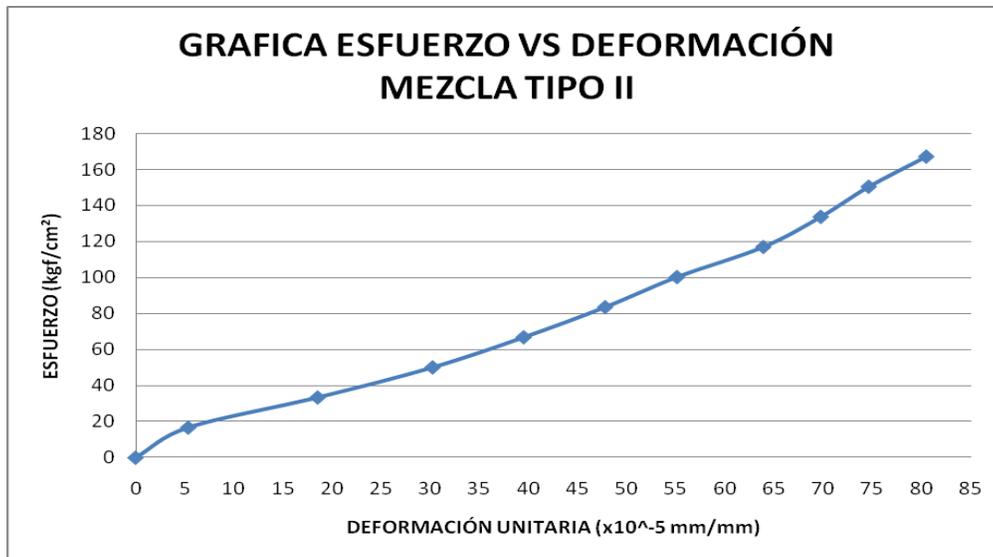


Gráfico 4.30: Gráfico de esfuerzo vs deformación unitaria a la edad de 28 días para la mezcla con aditivo superplastificante tipo II

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.72:

Sd	Sc	Ec	E
15,56	166,97	80,49	200578,34

Fuente: Elaboración propia

IV.13.3 Mezcla con aditivo plastificante (Mezcla Tipo III):

IV.13.3.1 Edad 28 días

Tabla 4.73: Características de la probeta con mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 28 días

DIAMETRO PROM (cm)	ALTURA (cm)	AREA (cm ²)
15,09	20,50	178,84

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.74: Deformación Unitaria para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III a la edad de 28 días

CARGA (kg)	LECTURA DE FLEXIMETRO			Deformación (mm)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación unitaria	Deformación Unitaria (x 10 ⁻⁵)
	L1	L2	L3				
0	70	73	76	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00
3.000	75	76	84	8,00E-03	1,68E+01	3,90E-05	3,90
6.000	78	84	91	1,50E-02	3,35E+01	7,32E-05	7,32
9.000	88	93	97	2,10E-02	5,03E+01	1,02E-04	10,24
12.000	95	103	101	2,50E-02	6,71E+01	1,22E-04	12,20
15.000	101	113	119	4,30E-02	8,39E+01	2,10E-04	20,98
18.000	115	126	132	5,60E-02	1,01E+02	2,73E-04	27,32
21.000	126	134	144	6,80E-02	1,17E+02	3,32E-04	33,17
24.000	135	147	152	7,60E-02	1,34E+02	3,71E-04	37,07
27.000	152	155	165	8,90E-02	1,51E+02	4,34E-04	43,41
30.000	165	173	175	9,90E-02	1,68E+02	4,83E-04	48,29

Fuente: Elaboración propia

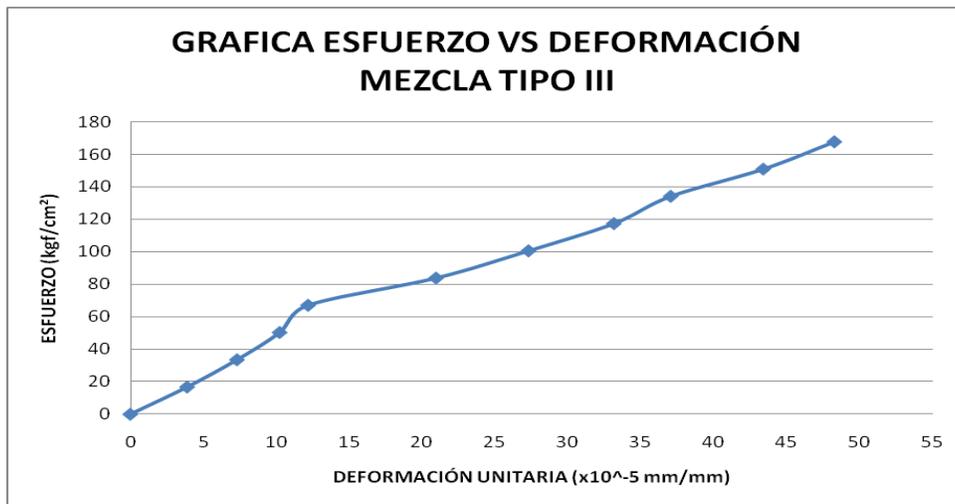


Gráfico 4.31: Gráfico de esfuerzo vs deformación unitaria a la edad de 28 días para la mezcla con aditivo plastificante Tipo III
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.75:

Sd	Sc	Ec	E
22,17	167,75	48,29	336.268,85

Fuente: Elaboración propia

En línea general, el módulo de la elasticidad fue determinado para cada una de las mezclas, a los 28 días.

La mezcla patrón tiene un módulo de elasticidad de $2,16 \times 10^5$ kg/cm². Después que se tomó la última lectura con el extensómetro, se aplicó una carga hasta la rotura de la probeta, la cual fue de 47.000 kg.

La mezcla tipo II tuvo un módulo de la elasticidad menor que la mezcla patrón, con un valor de $2,01 \times 10^5$ kg/cm². Después de que se tomó la última lectura del extensómetro se aplicó una carga hasta alcanzar la rotura de la probeta, la cual fue de 48.400 kg.

La mezcla tipo III si obtuvo un valor de módulo de la elasticidad significativo con respecto a la patrón. Alcanzó un valor de $3,36 \times 10^5$ kg/cm², y una carga de rotura de 48.000 kg.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Acorde a los alcances de la investigación y de acuerdo con los objetivos planteados, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se evaluaron las características de las mezclas de concreto pesado, elaboradas con mineral de hierro y aditivos plastificantes. Dicha evaluación, que abarcó, desde el análisis de los componentes de la mezcla hasta ensayos al concreto endurecido, permitió establecer un patrón de comportamiento de las mezclas con aditivos con respecto a la mezcla patrón.
- Se mejoró la trabajabilidad de cada una de las mezclas, gracias a la incorporación de los aditivos plastificantes y el uso de cemento tipo III, el cual posee mayor finura. Todo esto contribuyó a hacer las mezclas más manejables.
- Se midió el asentamiento de cada tipo de mezcla de concreto a través del método Cono de Abrams. Dicho asentamiento, en línea general, se obtuvo gracias a la adición de agua a cada mezcla, pues la cantidad requerida por el diseño no logró lubricar la superficie total de la mezcla, ya que la proporción de agregados finos representó el mayor porcentaje de composición de las mezclas.
- Se obtuvo un incremento de moderado a significativo en el asentamiento medido por el Cono de Abrams, razón por la cual, los aditivos utilizados cumplieron su acción plastificante.

- El valor de asentamiento medido va a depender de la calidad del aditivo o quizás a las condiciones en que el mismo se encontraba almacenado.
- Los aditivos utilizados intervinieron además en las mezclas tipo II y tipo III como reductores de agua, puesto que con respecto a la mezcla patrón, la adición de agua disminuyó para cada una de ellas. Esto se puede apreciar en el sentido que a la mezcla patrón se le agregaron 8 litros de agua a parte del diseño de mezcla, mientras que a las mezclas con aditivo solo se le agregaron 6 litros.
- Se obtuvieron valores de densidad moderados, oscilantes entre a 2500 y 2700 kg/m³ tanto en estado fresco como en estado endurecido para cada tipo de mezcla. De esta manera, se puede decir que la utilización del mineral de hierro ayuda a aumentar la densidad en las mezclas.
- Se lograron altos valores de velocidad de pulso ultrasónico en el concreto, lo que hace presumir de la homogeneidad y calidad de las mezclas.
- Se logró el desarrollo de altos valores de resistencia a compresión con respecto a la resistencia teórica esperada. Esto se atribuye al tipo de cemento utilizado y a los aditivos, que al actuar como reductores de agua, disminuyen la relación agua/cemento y permiten ganar resistencia.
- Se presentó en cada una de las mezclas desarrollo de resistencia temprana. A pesar de esto, las mezclas pueden considerarse como mezclas de muy alta resistencia a la compresión, pues sus valores de resistencia a los 28 días son superiores a los 400 kg/cm².
- Se determinó el coeficiente esclerométrico para cada muestra. El mismo, presenta una correlación con los valores de resistencia a compresión.
- El uso de aditivo plastificante en este tipo de mezclas aumenta el módulo de elasticidad, lo que hace que el concreto sea menos deformable.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

Una vez analizadas las conclusiones o determinaciones de la presente investigación, se recomienda:

- Realizar estudios con otros minerales cuyo peso unitario sea mayor al mineral de hierro, de manera que puedan obtenerse concretos con densidades mayores a las obtenidas en esta investigación, y así poder diversificar el uso de este tipo de mezclas.
- Hacer un análisis físico-químico de los minerales pesados de manera que pueda conocerse su reacción con el cemento.
- Proponer un diseño de mezcla para concretos pesados, de manera que pueda establecerse una correlación con el de concretos convencionales.
- Usar aditivos de tipo plastificante para mejorar la trabajabilidad de las mezclas de concreto con altas densidades.
- Utilizar aditivos plastificantes como reductores de agua.
- Utilizar cementos con mayor finura en la fabricación de concretos pesados, con el objetivo de alcanzar excelentes resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a compresión.
- Utilizar aditivo plastificante para obtener valores significativos en el módulo de elasticidad de concretos pesados.

BIBLIOGRAFÍA

Textos

Alayón, Y., & Álvarez, E. (2008). *Caracterización de mezclas de concreto pesado elaboradas con mineral de hierro como agregado fino*. Caracas.

Cabrera, Y., & Díaz, J. (2010). *Evaluación del efecto de la adición de cenizas volantes producto de la incineración del bagazo de caña de azúcar en mezclas de concreto de bajas a medias resistencias como sustitución parcial del cemento*. Caracas.

Neville, A., & Brooks, J. (1998). *Tecnología del Concreto*. México: Trillas.

NORMA COVENIN 254 Cedazos de ensayo. (1998). Caracas.

NORMA COVENIN 255 Agregados. Determinación de la composición granulométrica. (1998). Caracas.

NORMA COVENIN 263 Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. (1978). Caracas.

NORMA COVENIN 268 Agregado fino. Determinación de la densidad y la absorción. (1998). Caracas.

NORMA COVENIN 269 Agregado grueso. Determinación de la densidad y la absorción. (1998). Caracas.

NORMA COVENIN 270 Agregados. Extracción de muestras para morteros y concreto. (1998). Caracas.

NORMA COVENIN 277 Concreto. Agregados. Requisitos. (2000). Caracas.

NORMA COVENIN 338 Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto. (2002). Caracas.

NORMA COVENIN 339 Concreto. Método para la medición del asentamiento con el Cono de Abrams. (2003). Caracas.

NORMA COVENIN 349 Método de ensayo gravimétrico para determinar el peso por metro cúbico, rendimiento y contenido de aire en el concreto. (1979). Caracas.

NORMA COVENIN 356 Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones. (1994). Caracas.

NORMA COVENIN 1468 Método para determinar el Módulo de Elasticidad (secante) en probetas cilíndricas de concreto. (1979). Caracas.

NORMA COVENIN 1609 Método de ensayo para la determinación de la Dureza Esclerométrica en superficies de concreto endurecidas. (1980). Caracas.

NORMA COVENIN 1681 Concreto endurecido. Determinación de la Velocidad del Pulso Ultrasónico. (1980). Caracas.

NORMA COVENIN 1753 Estructuras de concreto armado para edificaciones. Análisis y Diseño. (1987). Caracas.

Porrero, J., Ramos, C., Velazco, G., & Grases, J. (2008). *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: Impresos Minipres C.A.

Ugas, C. (1985). *Ensayos de laboratorio en mecánica de suelos; discusión, evaluación, procedimiento*. Caracas: Tercera Edición.

Medios electrónicos

Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos4/concreto/concreto.shtml>

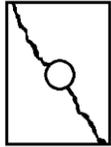
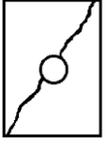
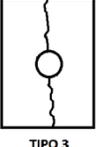
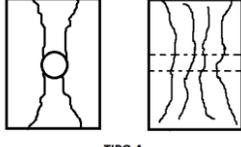
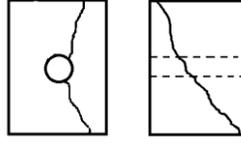
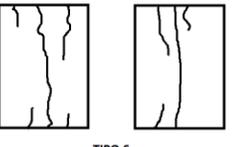
Disponible en <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080913163447AA3Wiv3>

Disponible en <http://www.imcyc.com/concretohistoria/alto.htm>

ANEXOS

- Caracterización de fallas en modelos

Tabla 76: Caracterización de fallas en modelos

TIPO	FALLA	OBSERVACIONES
1	 TIPO 1	FALLA TRANSVERSAL DE IZQUIERDA A DERECHA EN AMBAS CARAS FRONTAL Y TRASERA ATRAVESANDO LA ZONA SIN REPARAR
2	 TIPO 2	FALLA TRANSVERSAL DE DERECHA A IZQUIERDA EN AMBAS CARAS FRONTAL Y TRASERA ATRAVESANDO LA ZONA SIN REPARAR
3	 TIPO 3	FALLA VERTICAL PRODUCTO DE TENSIONES EN EL PLANO MEDIO DE LA CARA FRONTAL Y ATRAVIESA LA ZONA DE RELLENO
4	 TIPO 4	INICIO DE FALLA A 45° PRODUCTO DE CONCENTRACION DE TENSIONES HACIA LA ZONA DE RELLENO
5	 TIPO 5	FALLA VERTICAL PRODUCTO DE TENSIONES HACIA EL NUCLEO DE LA CARA FRONTAL Y CON FALLA TRANSVERSAL A 45° DE IZQUIERDA A DERECHA
6	 TIPO 6	FALLA VERTICAL PRODUCTO DE TENSIONES EN EL PLANO MEDIO DE LAS 4 CARAS

Fuente: Elaboración Propia



Fotografía 22: Falla Tipo 1 en probeta de mezcla patrón Tipo I
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 23: Falla Tipo 2 en probeta de mezcla con aditivo plastificante Tipo III
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 24: Falla Tipo 2 en probeta de mezcla patrón Tipo I
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 25: Falla Tipo 3 en probeta de mezcla con aditivo superplastificante Tipo II
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 26: Falla Tipo 3 en probeta de mezcla con aditivo plastificante Tipo III
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 27: Falla Tipo 4 en probeta de mezcla con aditivo plastificante Tipo III
Fuente: Elaboración propia



Fotografía 28: Falla Tipo 3 en probeta de mezcla con aditivo plastificante Tipo III
Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PLANILLA DE EVALUACION - TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

TITULO TEG: "EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO PESADO SUSTITUYENDO PARCIALMENTE EL AGREGADO FINO POR MINERAL DE HIERRO Y LA INCLUSIÓN DE ADITIVOS PLASTIFICANTES"

Estudiante: Fajardo R., Gabriel E.

Fecha de presentación:

DOCUMENTO		Calificación	%	Nota
1	Definición del problema y marco teórico		20	
2	Metodología		10	
3	Recopilación y ordenamiento de la información		10	
4	Análisis de la información		20	
5	Conclusiones y recomendaciones		15	
6	Bibliografía		5	
7	Redacción		20	
Calificación documento				
Porcentaje				60
Total proveniente del documento				

EXPOSICIÓN		Calificación	%	Nota
a	Orden		25	
b	Claridad		10	
c	Capacidad de síntesis		20	
d	Presentación Audiovisual		25	
e	Respuesta a las preguntas		20	
Calificación exposición				
Porcentaje				40
Total proveniente de la exposición				

Calificación	
---------------------	--