

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por darme la vida y permitirme llegar a este momento especial de finalización del presente trabajo de investigación. Agradezco a mis padres por ser mi fuente de fortaleza y sabiduría, a mis hermanos por ser mi ejemplo a seguir y mi apoyo en cada momento.

Expreso mi más sincero agradecimiento y reconocimiento a la Universidad Nacional de Cajamarca, a la Facultad de Ingeniería Civil y a sus extraordinarios maestros por haberme permitido ser parte del desarrollo profesional que en sus aulas se imparte.

Agradezco a mi asesor, M. en I. Héctor Pérez Loayza, por su valioso conocimiento, capacidad y paciencia infinita para guiarme durante el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Agradezco de manera muy especial a mis jurados: MCs. Ing. Marco Antonio Silva Silva, Ing. José Lázaro Lezama Leiva e Ing. Willian Próspero Quiroz Gonzales por su interés, motivación y crítica para la finalización de este trabajo.

A todos los que contribuyeron con su apoyo incondicional en las diferentes etapas ejecutadas, con su ayuda es que se hizo posible el desarrollo del presente trabajo, mi más profundo agradecimiento a Leiner Guerrero, Percy Minchán, Giovana Gonzales, Fernando Salazar, Alex Chávez, Sr. Juan Villanueva, Sr. Marcial Misahuamán.

Agradezco a los grandes amigos que a pesar de la distancia me siguen brindando su apoyo, ustedes representan la alegría inmensa de haber compartido una de las etapas más importantes de mi vida. Gracias Karen, Karina, Aileen, Mery, Kathia, Tatiana, William, Denis, Rafael, Nelson y Mateo.

Finalmente, agradezco a la empresa “DINO” por su valiosa contribución con la donación de cemento tipo Antisalitre MS, gracias por ser una empresa comprometida a impulsar el desarrollo de investigaciones en la ciudad de Cajamarca.

DEDICATORIA

A mis padres: Osiel Díaz Osorio y Mélida Silva Latorre
por su amor, apoyo y sacrificios incomparables,
gracias a ustedes soy
una persona fuerte, con sueños y objetivos en la vida.

A mis hermanos: Orlando, José y Julio
por su ejemplo para afrontar el camino de la vida y por
su apoyo para superarme cada día.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA.....	II
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	XI
ÍNDICE DE IMÁGENES	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	4
1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	4
1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	4
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.6. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES.....	7

	Pag.
2.1.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	7
2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	9
2.1.3. ANTECEDENTES NACIONALES	10
2.1.4. ANTECEDENTES LOCALES	11
2.1.5. RESULTADOS DE ESTUDIOS ANTERIORES.....	11
2.2. BASES TEÓRICAS.....	13
2.2.1. CONCRETO PERMEABLE	13
2.2.2. MATERIALES.....	15
2.3. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA.....	24
2.3.1. RELACIÓN AGUA - CEMENTO	24
2.3.2. RELACIÓN AGREGADO - CEMENTO.....	26
2.3.3. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	26
2.3.4. PORCENTAJE DE VACÍOS	27
2.3.5. PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLA	27
2.3.6. TABLAS USADAS EN EL DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE	30
2.3.7. GRÁFICAS USADAS EN EL DISEÑO DEL CONCRETO PERMEABLE	31
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	33
3.1. MATERIALES USADOS EN LA INVESTIGACIÓN	33
3.1.1. AGREGADOS	33
3.1.2. CEMENTO ANTISALITRE MS	35
3.1.3. AGUA	36
3.1.4. ADITIVO CHEMAPLAST	37
3.1.5. FIBRA DE POLIPROPILENO.....	37
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	38
3.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.2.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	39
3.2.3. MUESTRA	39
3.2.4. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	39
3.3. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN	39
3.3.1. ETAPA I.....	40
3.3.2. ETAPA II.....	40
3.3.3. ETAPA III.....	41

	Pag.
3.4. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PERMEABLE	41
3.5. PROPIEDADES ESTUDIADAS DEL CONCRETO PERMEABLE	45
3.5.1. ASENTAMIENTO	45
3.5.2. PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO	46
3.5.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	46
3.5.4. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	50
3.5.5. PERMEABILIDAD.....	52
3.6. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	56
3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
3.7.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
3.7.2. EVALUACIÓN DE RESULTADOS	62
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	65
4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
4.1.1. ETAPA I.....	68
4.1.2. ETAPA II.....	72
4.1.3. ETAPA III.....	76
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	79
4.2.1. ETAPA I.....	79
4.2.2. ETAPA II.....	81
4.2.3. ETAPA III.....	88
4.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS	93
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94
5.1. CONCLUSIONES	94
5.2. RECOMENDACIONES.....	95
CAPÍTULO VI: LITERATURA CONSULTADA.....	96
6.1. TESIS	96
6.2. ARTÍCULOS	98
6.3. LIBROS Y REGLAMENTOS	98
6.4. NORMAS	99
6.5. PÁGINAS WEB.....	101

CAPÍTULO VII: ANEXOS.....	103
7.1. ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS .	103
7.1.1. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS	103
7.1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS	104
7.1.3. PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS	104
7.1.4. ABRASIÓN DE LOS AGREGADOS	107
7.1.5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS	108
7.2. ANEXO II. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO ANTISALITRE MS	115
7.3. ANEXO III. FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO CHEMAPLAST.....	116
7.4. ANEXO IV. FICHA TÉCNICA DE FIBRA DE POLIPROPILENO.....	119
7.5. ANEXO V. DISEÑOS DE MEZCLAS.....	121
7.5.1. DISEÑO BASE I	121
7.5.2. DISEÑO BASE II y III.....	127
7.5.3. DISEÑO BASE IV	133
7.5.4. REAJUSTE DE DISEÑO BASE III.....	139
7.5.5. REAJUSTE DE DISEÑO BASE III + ADITIVO PLASTIFICANTE	144
7.5.6. REAJUSTE DE DISEÑO BASE III + ADITIVO PLASTIFICANTE + FIBRA DE POLIPROPILENO	147
7.5.7. DESARROLLO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE REAJUSTE DE DISEÑO BASE III + ADITIVO PLASTIFICANTE + FIBRA DE POLIPROPILENO..	150
7.6. ANEXO VI. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	152
7.6.1. ESFUERZO A COMPRESIÓN Y DEFORMACIÓN	152
7.6.2. GRÁFICAS DE ESFUERZO A COMPRESIÓN Y DEFORMACIÓN	153
7.7. ANEXO VII. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	158
7.7.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO – ENSAYO A COMPRESIÓN	158
7.7.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO – ENSAYO A FLEXIÓN	173
7.8. ANEXO VIII. DATOS DE LABORATORIO.....	180
7.9. ANEXO IX. PANEL FOTOGRÁFICO.....	187

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
TABLA N° 1. PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES EN EL CONCRETO PERMEABLE.....	12
TABLA N° 2. PROPIEDADES TÍPICAS EN EL CONCRETO PERMEABLE.....	13
TABLA N° 3. PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO.....	27
TABLA N° 4. CONSISTENCIA.....	30
TABLA N° 5. TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO.....	30
TABLA N° 6. PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO b/b ₀	31
TABLA N° 7. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	35
TABLA N° 8. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO PORTLAND TIPO MS.....	36
TABLA N° 9. DATOS TÉCNICOS DE CHEMA FIBRA ULTRAFINA.....	38
TABLA N° 10. COEFICIENTES DE VARIACIÓN PARA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	58
TABLA N° 11. FUENTES DE VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.....	63
TABLA N° 12. DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE, PROPORCIONAMIENTO EN PESO.....	65
TABLA N° 13. DISEÑOS DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE POR METRO CÚBICO.....	66
TABLA N° 14. RESUMEN DE PROPIEDADES INGENIERILES. ETAPA I – II Y III.	67
TABLA N° 15. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL DISEÑO DBI.....	68
TABLA N° 16. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL DISEÑO DBII.....	68
TABLA N° 17. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL DISEÑO DBIII.....	68
TABLA N° 18. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL DISEÑO DBIV.....	69
TABLA N° 19. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL DISEÑO RDBIII.....	69
TABLA N° 20. PORCENTAJE DE VACÍOS – DISEÑOS SIN ADITIVO PLASTIFICANTE.....	69
TABLA N° 21. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL DISEÑO RDBIII-AD1.....	70
TABLA N° 22. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL DISEÑO RDBIII-AD2.....	70
TABLA N° 23. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL DISEÑO RDBIII-AD3.....	70

TABLA N° 24. PORCENTAJE DE VACÍOS – DISEÑOS INICIALES CON ADITIVO PLASTIFICANTE.....	71
TABLA N° 25. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL DISEÑO RDBIII-AD1-FPP1.	72
TABLA N° 26. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL DISEÑO RDBIII-AD1-FPP2.	72
TABLA N° 27. PORCENTAJE DE VACÍOS – DISEÑOS CON FIBRA DE POLIPROPILENO.	72
TABLA N° 28. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DEL DISEÑO RDBIII-AD1-FPP1.....	73
TABLA N° 29. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DEL DISEÑO RDBIII-AD1-FPP1.....	73
TABLA N° 30. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DEL DISEÑO RDBIII-AD1-FPP1.....	74
TABLA N° 31. PORCENTAJE DE VACÍOS DEL DISEÑO RDBIII - AD1 - FPP1. ...	74
TABLA N° 32. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL DISEÑO RDBIII-AD1.....	75
TABLA N° 33. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL DISEÑO RDBIII-AD1-FPP1.	76
TABLA N° 34. RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL DISEÑO RDBIII-AD1-FPP1.	77
TABLA N° 35. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DEL DISEÑO RDBIII – AD1 - FPP1.	78
TABLA N° 36. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	103
TABLA N° 37. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.	103
TABLA N° 38. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO.....	104
TABLA N° 39. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO.....	104
TABLA N° 40. PESO ESPECÍFICO DEL AGUA.....	104
TABLA N° 41. FACTOR F.	104
TABLA N° 42. PESO UNITARIO SUELTO SECO DEL AGREGADO FINO.....	105
TABLA N° 43. PESO UNITARIO SECO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO	105
TABLA N° 44. PESO UNITARIO SUELTO SECO DEL AGREGADO GRUESO....	105
TABLA N° 45. PESO UNITARIO SECO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO.....	106
TABLA N° 46. ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C131 / NTP 400.019).	107

TABLA N° 47. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO. ENSAYO N° 1.	108
TABLA N° 48. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO. ENSAYO N° 2.	108
TABLA N° 49. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO. ENSAYO N° 3.	109
TABLA N° 50. HUSOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO SEGÚN NTP 400.012.....	109
TABLA N° 51. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO. ENSAYO N° 1.....	111
TABLA N° 52. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO. ENSAYO N° 2.....	111
TABLA N° 53. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO. ENSAYO N° 3.....	112
TABLA N° 54. HUSOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO SEGÚN NTP 400.012.	113
TABLA N° 55. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO BASE I.....	121
TABLA N° 56. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO BASE II.....	127
TABLA N° 57. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO BASE III.....	127
TABLA N° 58. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO BASE IV.....	133
TABLA N° 59. DATOS ESTADÍSTICOS DE ESFUERZO A LA COMPRESIÓN Y DEFORMACIÓN UNITARIA.	158
TABLA N° 60. FRECUENCIA DE ESFUERZO A LA COMPRESIÓN.	158
TABLA N° 61. FRECUENCIA DE DEFORMACIÓN UNITARIA.....	159
TABLA N° 62. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DEL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN.	162
TABLA N° 63. VALOR CRÍTICO PARA LA PRUEBA DE KOLMOGOROV. ESFUERZO A COMPRESIÓN.	163
TABLA N° 64. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DE DEFORMACIÓN UNITARIA.	164
TABLA N° 65. VALOR CRÍTICO PARA LA PRUEBA DE KOLMOGOROV. DEFORMACIÓN UNITARIA.	165

TABLA N° 66. INTERVALO DEL 95% DE CONFIANZA PARA LA MEDIA. RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	165
TABLA N° 67. INTERVALO DEL 95% DE CONFIANZA PARA LA MEDIA. DEFORMACIÓN UNITARIA.....	166
TABLA N° 68. PROMEDIO 2, 3 Y 5 ENSAYOS CONSECUTIVOS. ESFUERZO A COMPRESIÓN.....	167
TABLA N° 69. PROMEDIO 2, 3 Y 5 ENSAYOS CONSECUTIVOS. DEFORMACIÓN UNITARIA.....	168
TABLA N° 70. DATOS ESTADÍSTICOS DE ESFUERZO A LA FLEXIÓN.....	173
TABLA N° 71. FRECUENCIAS DE ESFUERZO A LA FLEXIÓN (R).....	173
TABLA N° 72. PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DEL ESFUERZO A LA FLEXIÓN.....	175
TABLA N° 73. VALOR CRÍTICO PARA LA PRUEBA DE KOLMOGOROV- ESFUERZO A FLEXIÓN.....	176
TABLA N° 74. INTERVALO DEL 95% DE CONFIANZA PARA LA MEDIA – RESISTENCIA A FLEXIÓN.....	176
TABLA N° 75. PROMEDIO 2, 3 Y 5 ENSAYOS CONSECUTIVOS DE FLEXIÓN.....	177
TABLA N° 76. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO DBI.....	180
TABLA N° 77. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO DBII.....	180
TABLA N° 78. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO DBIII.....	181
TABLA N° 79. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO DBIV.....	181
TABLA N° 80. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO RDBIII.....	182
TABLA N° 81. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO RDBIII – AD1.....	182
TABLA N° 82. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO RDBIII – AD2.....	183
TABLA N° 83. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO RDBIII – AD3.....	183
TABLA N° 84. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO RDBIII-AD1-FPP1.....	184
TABLA N° 85. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO RDBIII-AD1-FPP2.....	184
TABLA N° 86. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO II-RDBIII-AD1-FPP1-(18).	185
TABLA N° 87. DATOS DE LABORATORIO DEL DISEÑO III-RDBIII-AD1-FPP1-(30).	186

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pag.
GRÁFICA N° 1. CONTENIDO DE VACÍOS VERSUS PERCOLACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE.	31
GRÁFICA N° 2. CONTENIDO DE VACÍOS VERSUS RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE.....	32
GRÁFICA N° 3. CONTENIDO DE PASTA VERSUS VACÍOS PARA AGREGADOS DEL HUSO GRANULOMÉTRICO N° 67.....	32
GRÁFICA N° 4. CURVA DE DISTRIBUCIÓN NORMAL PARA DIFERENTES VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	60
GRÁFICA N° 5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑOS SIN ADITIVO PLASTIFICANTE. ETAPA I.....	80
GRÁFICA N° 6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑOS CON ADITIVO PLASTIFICANTE. ETAPA I.....	82
GRÁFICA N° 7. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE DISEÑOS CON FIBRA DE POLIPROPILENO. ETAPA II.....	83
GRÁFICA N° 8. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. CÓDIGO: RDBIII-AD1-FPP1.....	85
GRÁFICA N° 9. CONTENIDO DE VACÍOS VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.	86
GRÁFICA N° 10. CONTENIDO DE VACÍOS VS PESO UNITARIO.....	86
GRÁFICA N° 11. CONTENIDO DE VACÍOS VS MÓDULO DE ELASTICIDAD.....	87
GRÁFICA N° 12. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS PESO UNITARIO DEL CONCRETO PERMEABLE.....	89
GRÁFICA N° 13. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO PERMEABLE.....	90
GRÁFICA N° 14. INFLUENCIA DE USO DE FIBRA DE POLIPROPILENO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	91
GRÁFICA N° 15. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD.....	92
GRÁFICA N° 16. CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO. ENSAYOS N° 1,2 Y 3.....	110

GRÁFICA N° 17. CURVA DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO. ENSAYOS N° 1,2 Y 3.....	114
GRÁFICA N° 18 . HISTOGRAMA: ESFUERZO DE COMPRESIÓN.....	160
GRÁFICA N° 19 . HISTOGRAMA: DEFORMACIÓN UNITARIA.	161
GRÁFICA N° 20. PROMEDIO 2 ENSAYOS CONSECUTIVOS A COMPRESIÓN.	169
GRÁFICA N° 21. PROMEDIO DE 3 Y 5 ENSAYOS CONSECUTIVOS A COMPRESIÓN.	170
GRÁFICA N° 22. PROMEDIO DE 2 ENSAYOS CONSECUTIVOS. DEFORMACIÓN UNITARIA.....	171
GRÁFICA N° 23. PROMEDIO DE 3 Y 5 ENSAYOS CONSECUTIVOS. DEFORMACIÓN UNITARIA.	172
GRÁFICA N° 24 . HISTOGRAMA: MODULO DE ROTURA (R).....	174
GRÁFICA N° 25. PROMEDIO DE 2 ENSAYOS CONSECUTIVOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.	178
GRÁFICA N° 26. PROMEDIO 3 Y 5 ENSAYOS CONSECUTIVOS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	179

ÍNDICE DE IMÁGENES

	Pag.
IMAGEN N° 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CANTERA TARTAR	33
IMAGEN N° 2. AGREGADO GRUESO UTILIZADO EN DISEÑOS DE MEZCLA	34
IMAGEN N° 3. AGREGADO FINO UTILIZADO EN DISEÑOS DE MEZCLA	34
IMAGEN N° 4: CEMENTO ANTISALITRE MS	35
IMAGEN N° 5. ADITIVO CHEMAPLAST FUENTE.....	37
IMAGEN N° 6. CHEMA FIBRA ULTRAFINA.	37
IMAGEN N° 7. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO PERMEABLE.....	43
IMAGEN N° 8. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES PRISMÁTICOS DE CONCRETO PERMEABLE	44
IMAGEN N° 9. CURADO INICIAL DEL CONCRETO PERMEABLE	45
IMAGEN N° 10. CURADO ESTÁNDAR DEL CONCRETO PERMEABLE	45
IMAGEN N° 11. ENSAYO DE ASENTAMIENTO DEL CONCRETO PERMEABLE.	46
IMAGEN N° 12. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LOS PATRONES TÍPICOS DE FRACTURA.....	48
IMAGEN N° 13. VERIFICACIÓN DEL TIPO DE FRACTURA EN LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO PERMEABLE.	48
IMAGEN N° 14. MEDICIÓN DE LAS DEFORMACIONES DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO PERMEABLE	50
IMAGEN N° 15. ENSAYO A FLEXIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PERMEABLE.....	52
IMAGEN N° 16. EQUIPO DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD RECOMENDADO POR EL ACI 522.R.....	53
IMAGEN N° 17. EQUIPO ELABORADO PARA ENSAYO DE PERMEABILIDAD....	54
IMAGEN N° 18. EJECUCIÓN DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD.....	55
IMAGEN N° 19. CURADO DE ESPECÍMENES.	187
IMAGEN N° 20. ASESORAMIENTO DE TESIS.....	187
IMAGEN N° 21. ADITIVO CHEMAPLAST, INCORPORADO EN EL AGUA A LOS DISEÑOS DE MEZCLA.....	188
IMAGEN N° 22. CONSISTENCIA SECA DEL CONCRETO PERMEABLE.....	188

	Pag.
IMAGEN N° 23. CONCRETO PERMEABLE CON ADITIVO PLASTIFICANTE CHEMAPLAST.	189
IMAGEN N° 24. INCORPORACIÓN A LA MEZCLA DE “CHEMA FIBRA ULTRAFINA”	190
IMAGEN N° 25. CONCRETO ENDURECIDO CON FIBRA Y ADITIVO, CURADOS 28 DÍAS.	190
IMAGEN N° 26. ENSAYO A COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES QUE CONTIENEN “CHEMA FIBRA ULTRAFINA”.....	191
IMAGEN N° 27. ENSAYO A COMPRESIÓN.....	192
IMAGEN N° 28. ESFUERZO - DEFORMACIÓN UNITARIA DEL CONCRETO PERMEABLE.....	192
IMAGEN N° 29. ENSAYO DE FLEXIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PERMEABLE.....	193
IMAGEN N° 30. ESPECIMEN DESPUÉS DE SER SOMETIDO A ESFUERZO DE FLEXIÓN.	193
IMAGEN N° 31. PERMEABILIDAD EN ESPECIMEN DE CONCRETO PERMEABLE.	194
IMAGEN N° 32. ENSAYO DE COEFICIENTE PERMEABILIDAD.....	194

GLOSARIO

ACI	American Concrete Institute.
ACI 211.3R-02	Guía para diseño de concreto sin asentamiento.
ACI 522.1-13	Especificaciones para Pavimentos de Concreto Permeable.
ACI 522.R-10	Reporte sobre concreto permeable.
ACPA	American Concrete Pavement Association.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
CEMENTO ANTISALITRE MS (MH)(R)	Es un Cemento Portland con adiciones de escoria de altos hornos, una de sus propiedades principales es la resistencia moderada a los sulfatos (componente MS), moderado calor de hidratación (componente MH) y resistencia a los agregados álcalis reactivos (componente R).
EPA	Agencia de Protección Ambiental.
GSA	Geological Society of America®.
INFILTRACIÓN	Movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra.
LEED	Liderazgo en energía y diseño ambiental.
NAA-NRMCA	National Aggregates Association - Nacional Ready Mixed Concrete Association.
NTP	Normas técnicas peruanas.
PCA	Asociación del cemento Portland
PERMEABILIDAD	Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna.

USGBC	U.S. Green Building Council.
CHEMAPLAST	Es un aditivo plastificante de color marrón a base de agentes dispersantes de alta eficacia, exento de cloruros el cual provee trabajabilidad y una fácil colocación en las mezclas de concreto.
CHEMA FIBRA ULTRAFINA	Es una fibra de polipropileno para refuerzo tridimensional en morteros y concretos, reductor de rajaduras.
WSUD	Water Sensitive Urban Design.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo diseñar una mezcla de concreto permeable para uso en pavimentos en la ciudad de Cajamarca, utilizando aditivo y adición de fibra de polipropileno para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y a la flexión de 42 kg/cm². El programa de ejecución se dividió en tres etapas. En la etapa I, se diseñó el concreto permeable con aditivo plastificante; en la etapa II se incluyó al diseño seleccionado en la etapa I la fibra de polipropileno y finalmente en la etapa III se elaboraron especímenes con el diseño de mezcla óptimo seleccionado en la etapa II, que fueron sometidos a ensayos de compresión, flexión y de permeabilidad. Se elaboraron en total 132 especímenes de concreto permeable, cuyos diseños de mezcla se ajustaron a lo especificado en las normas ACI 211.3R-02 y ACI 522.R-10. El diseño de mezcla de código III-RDBIII-AD1-FPP1-(30), presentó a los 28 días resistencias mecánicas de 22.35 MPa (227.78 kg/cm²) a compresión, con desviación estándar 6.29 kg/cm² y coeficiente de variación 2.76% y a flexión 4.34 MPa (44.21 kg/cm²) con desviación estándar 1.39 kg/cm² y coeficiente de variación 3.14 %. El peso unitario fue 192.24 MPa (1959.62 kg/m³) y el módulo de elasticidad 17345.17 MPa (176811.07 kg/cm²). El coeficiente de permeabilidad fue 0.27 cm/seg con un contenido de poros de 17.36%. Finalmente, se concluyó que el diseño de mezcla III-RDBIII-AD1-FPP1-(30), cumple las condiciones estructurales (resistencia a la compresión y resistencia a la flexión) y de permeabilidad para ser usado en pavimentos en la ciudad de Cajamarca.

Palabras claves: Diseño de mezcla, concreto permeable, aditivo plastificante, fibra de polipropileno, compresión, flexión, peso unitario, módulo de elasticidad, coeficiente de permeabilidad.

ABSTRACT

The objective of this research was to design a permeable concrete mixture for use in pavements in the city of Cajamarca, using additive and addition of polypropylene fiber for a compression strength of 210 kg/cm² and at a flexion of 42 kg/cm². The implementation program was divided into three stages. In stage I, the permeable concrete was designed with plasticizer additive; In step II, the polypropylene fiber selected in step I was selected and finally in step III, specimens with the optimum blend design selected in step II were prepared and subjected to compression, bending and permeability tests. A total of 132 specimens of permeable concrete were prepared, whose mixing designs were adjusted to those specified in standards ACI 211.3R-02 and ACI 522.R-10. The mixture design of code III-RDBIII-AD1-FPP1-(30), presented at 28 days mechanical strength of 22.35 MPa (227.78 kg/cm²) under compression, with standard deviation 6.29 kg/cm² and coefficient of variation 2.76% And bending 4.34 MPa (44.21 kg/cm²) with standard deviation 1.39 kg/cm² and coefficient of variation 3.14%. The unit weight was 192.24 MPa (1959.62kg /m³) and the modulus of elasticity was 17345.17 MPa (176811.07 kg / cm²). The permeability coefficient was 0.27 cm/sec with a pore content of 17.36%. Finally, it was concluded that the mixture design III-RDBIII-AD1-FPP1-(30), fulfills the structural conditions (compressive strength and flexural strength) and permeability to be used in pavements in the city of Cajamarca.

Key words: Mixture design, permeable concrete, plasticizer additive, polypropylene fiber, compression, bending, unit weight, modulus of elasticity, permeability coefficient.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El diseño de mezcla de concreto permeable es elaborado en base a cantidades controladas de cemento, agregado grueso, puede contener agregado fino en bajo porcentaje o no contenerlo, agua y aditivos para crear una masa de partículas de agregados cubiertos con una capa delgada de pasta; el bajo o nulo contenido de arena en el diseño, crea la estructura de vacíos en el concreto, logrando características especiales en su configuración; siendo una de las primordiales características su capacidad para absorber agua, es que el contenido de vacíos deberá variar entre 15% y 35% según el ACI 522.R-10, que también nos brinda otras características que definen al concreto permeable, como su capacidad de infiltración, variable entre 120 y 320 Lt/min/m² (0.20 a 0.54 cm/seg) y su resistencia a la compresión de 2.8 a 28 MPa, de igual forma menciona el rango del tamaño máximo del agregado grueso que puede ser usado, siendo éste menor a un tercio del espesor de la capa del pavimento.

Cajamarca es una ciudad de superficies impermeabilizadas debido al uso de concreto hidráulico convencional en la construcción de pavimentos, lo cual altera radicalmente el ciclo natural del agua, provocando acumulación y flujo de ésta en las superficies, desbordando la capacidad de los sistemas de drenaje, aumentando la temperatura ambiental, etc. El concreto permeable es una alternativa de solución ante daños ocasionados por el ser humano a suelos, a mantos acuíferos y al medio ambiente en general, por lo tanto, se establece como medida innovadora dentro de la construcción de pavimentos en el ámbito de la Ingeniería Civil, pero en nuestro medio se requieren de estudios de diseños de mezcla de concreto permeable.

Con la presente investigación se obtuvo un diseño de mezcla de concreto permeable con uso de aditivo "Chemaplast" y adición de fibra de polipropileno "Chema Fibra Ultrafina".

Este informe consta de VII capítulos, que son los siguientes:

Capítulo I: Introducción. - Contiene el planteamiento, hipótesis, objetivos, alcances y limitaciones de la investigación.

Capítulo II: Marco Teórico. - Está compuesto por los antecedentes, bases teóricas y método de diseño de mezcla del concreto permeable.

Capítulo III: Materiales y Métodos de Investigación. - Este capítulo comprende la caracterización de los materiales utilizados en la investigación, el tipo de investigación, las etapas de la investigación, la elaboración de los especímenes de concreto permeable, propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable estudiadas, los métodos de recopilación de información, los métodos de procesamiento y el análisis de resultados.

Capítulo IV: Presentación y Discusión de Resultados. - En esta parte encontramos los resultados, el análisis de los resultados y el contraste de hipótesis.

Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones. - Se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Capítulo VI: Literatura consultada.

Capítulo VII: Anexos.

1.2. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los estudios de diseños de mezcla de concreto permeable, en la ciudad de Cajamarca son escasos en relación a los de diseños de mezcla de concreto hidráulico convencional; sin tomar en cuenta el presente, son 4 estudios realizados en la UNC (Universidad Nacional de Cajamarca).

El desempeño estructural de un concreto se garantiza con el estudio de los diseños de mezcla y se refleja en su uso, como en el caso del concreto hidráulico convencional en la construcción de pavimentos, que provocan un elevado impacto ambiental. El concreto hidráulico convencional utilizado en la construcción de pavimentos, conlleva a la impermeabilización de grandes superficies, por lo cual las aguas pluviales son evacuadas utilizando los sistemas de alcantarillado, constituyen encharcamientos e inundaciones en calles, zonas de estacionamiento, etc., y otra es evaporada; con esto se contribuye a su contaminación y se impide que lleguen hasta el subsuelo y/o se aproveche, con su almacenamiento.

El uso de concreto permeable en pavimentos permite el almacenamiento y/o reutilización de aguas pluviales por lo cual, forma parte de los denominados “Concretos Ecológicos”.

El objetivo de esta investigación fue obtener el diseño de mezcla de concreto permeable para pavimentos en la ciudad de Cajamarca, utilizando aditivo y adición de fibra de polipropileno de una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y a la flexión de 42 kg/cm², que constituya una estructura semejante a un sistema natural de infiltración de agua.

Finalmente, con el tiempo se logren diseños de mezcla de concreto permeable que garanticen resistencias aptas en la pavimentación.

1.2.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La presente investigación planteó el estudio de las propiedades físicas y mecánicas del concreto permeable en estado fresco y endurecido elaborado con aditivo plastificante “Chemaplast” y adición de polipropileno “Chema Fibra Ultrafina”.

1.2.3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el diseño de mezcla de concreto permeable óptimo, elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno, apto para uso en pavimentos en la ciudad de Cajamarca?

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

- Haciendo uso de aditivo plastificante “Chemaplast” y fibra de polipropileno “Chema Fibra Ultrafina” se logró diseñar un concreto permeable de resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y de resistencia a la flexión de 42 kg/cm².

1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La resistencia a la compresión, del concreto permeable que contiene adición de fibra de polipropileno “Chema Fibra Ultrafina” aumentó en 10%.
- La resistencia a la flexión, del concreto permeable que contiene adición de fibra de polipropileno “Chema Fibra Ultrafina” aumentó en 20%.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una mezcla de concreto permeable para uso en pavimentos en la ciudad de Cajamarca, utilizando aditivo y adición de fibra de polipropileno para una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y a la flexión de 42 kg/cm².

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físicas y mecánicas de los agregados constituyentes del concreto permeable.
- Diseñar las mezclas de concreto permeable de resistencia a la compresión de 210 kg/cm² con aditivo “Chemaplast” y fibra de polipropileno “Chema Fibra Ultrafina”.
- Determinar las propiedades del concreto permeable en estado fresco y endurecido.
- Determinar el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable.

1.4.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

7.7.1.1. Variables independientes

- Propiedades físicas y mecánicas de los agregados.
- Propiedades del cemento antisalitre MS (ASTM C - 1157).
- Propiedades del aditivo plastificante (Chemaplast).
- Propiedades físicas y mecánicas del polipropileno (Chema Fibra Ultrafina).
- El diseño de mezcla de concreto permeable.

7.7.1.2. Variables dependientes

- Resistencia a la compresión del concreto permeable.
- Resistencia a la flexión del concreto permeable.
- Coeficiente de permeabilidad del concreto permeable.

1.4.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Empresas privadas, municipios y otras entidades que ejecutan obras civiles de pavimentación, requieren de estudios de diseños de mezcla de concreto permeable, que garanticen su eficiencia en cuanto a permeabilidad y funcionalidad estructural.

Las características principales, enfoques de la presente investigación, que garantizan eficiencia en cuanto a permeabilidad y funcionalidad estructural del concreto permeable para uso en pavimentos son las siguientes:

- Resistencia mínima a la compresión de 210 kg/cm² y resistencia a la flexión de 42 kg/cm² (Morales 2005).
- Permeabilidad, que dependerá del contenido de vacíos (15% a 35%), teniendo en cuenta que es la función principal de los pavimentos de concreto permeable (ACI 522.R 2010).

Por tanto, esta investigación está enfocada en la elaboración de concreto permeable que cumpla las características anteriormente mencionadas.

7.7.1.3. Justificación ambiental

El concreto permeable, forma parte de los denominados “Concretos Ecológicos” debido a su bajo impacto en el medio ambiente, esto gracias a que con su uso en pavimentos se consigue tratar las aguas pluviales:

- Permitiendo su almacenamiento y reutilización.
- Permitiendo su infiltración al subsuelo y logrando así la restauración de los mantos acuíferos.

7.7.1.4. Justificación estructural

- A través de pruebas de resistencia a la compresión y flexión, se obtuvo el comportamiento estructural del concreto permeable elaborado.

7.7.1.5. Justificación económica

- Disminuir la inversión en construcción y mantenimiento de sistemas de drenaje con el manejo natural de las aguas pluviales.
- El concreto permeable es recomendado por el bajo costo a lo largo de su ciclo de vida, es decir, el costo para elaborarse, mantener, demoler y reciclar es bajo.

7.7.1.6. Justificación urbanística y estética

- Disminuir escorrentía, encharcamientos e inundaciones en zonas urbanas y permitir el mejor tránsito tanto vehicular como peatonal en tiempo de lluvias.
- Estéticamente es un concreto que puede ser diseñado con pigmentación de diversos colores y así dar un mejor aspecto urbanístico.

1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de la presente investigación tiene propósito descriptivo (Hernández, Fernández, Baptista 2003) del diseño de mezcla de concreto permeable y las propiedades físicas y mecánicas del mismo en estado fresco y endurecido, elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno.

Continuando con la línea de investigación existente en la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, en diseños de concreto permeable, se pretende obtener una mejor calidad del mismo y dar a conocer a estudiantes de Ingeniería, empresas constructoras y/o productoras de concreto, instituciones públicas, privadas y sociedad en general los resultados del estudio.

1.6. LIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- No se ha tenido limitaciones en la presente tesis.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Se diseñó concreto permeable desde antigüedad, el primer registro de su aplicación es en la construcción de dos casas, en el Reino Unido, concreto sin finos, que data del año 1852 (ACI 522.R-10).

Del año 1923, en Edimburgo (Escocia), se tiene el registro de 50 casas, de dos pisos, construidas con Clinker y agregado, conocidas como Wimpey Houses, que se caracterizaron por su eficiencia constructiva y buenas condiciones de aislamiento y en 1930 se adoptó la concepción de “Concreto Permeable” para la construcción de casas, dirigida por la Asociación de Vivienda Especial de Escocia (Offenberg 2008).

Desde el año 1930 hasta 1942, se construyeron 900 viviendas de concreto permeable en el Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, España, Hungría, África, Oriente Medio, Australia y Rusia. En 1945, finalizada la Segunda Guerra Mundial, con gran parte de Europa devastada, escasez de mano de obra calificada, escasez de materiales, y una necesidad imperante de viviendas, el concreto permeable se impuso como una solución contribuyendo sustancialmente a la producción de viviendas nuevas. En 1950, se construyeron residencias de concreto permeable, hasta de cinco pisos en Escocia (ACI 522.R-10).

Desde el año 1951 se iniciaron investigaciones del concreto permeable en Estados Unidos, a partir de 1960 los estudios son dirigidos por el ACI (American Concrete Institute), registrándose en el mismo año la construcción de casas con concreto permeable en Canadá (ACI 522.R-10).

En la actualidad el concreto permeable a pesar de ser un material utilizado en la industria de la construcción hace más de un siglo, como una solución a necesidades específicas de mano de obra y materiales, solamente hasta hace un par de décadas empieza a potenciarse por sus prestaciones medioambientales y de sostenibilidad, entregando grandes ventajas que en sus inicios no eran conocidas y mucho menos explotadas (Arango 2014).

El concreto permeable requiere de consideraciones especiales en cuanto al diseño de la estructura en el caso específico de un pavimento (sistema), material, construcción,

uso y mantenimiento, para garantizar su éxito en la aplicación, que no son más que tener algunos cuidados adicionales respecto al concreto convencional y empezar a entenderlo como un sistema que entrega una potente solución para la gestión del agua, más que un material aislado; nos ofrece grandes posibilidades como ingenieros en un mundo cada vez más consiente y responsable con el medioambiente y las buenas prácticas para un desarrollo urbano sostenible, permitiendo obras como las ejecutadas para los Juegos Olímpicos de Beijing, China en 2008 (Aoki 2009).

El concreto permeable es reconocimiento mundialmente. En Estados Unidos, el uso del concreto permeable es reconocido por la EPA (Agencia de Protección Ambiental), como una de las buenas prácticas para gestionar el agua de lluvia; el ACI (Instituto Americano del Concreto) tiene al comité 522 trabajando sobre este tema y la ASTM (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales) se ha enfocado en el desarrollo de estándares para caracterizar sus propiedades, producción y uso (Arango 2014).

En Estados Unidos la USGBC (Asociación U.S. Green Building Council), coalición de sectores de la industria de la construcción, crean proyectos con impacto positivo significativo, utilizando diseños, materiales y métodos que mejoran el medio ambiente y limitan el impacto negativo de la construcción, es así que esta organización promueve el uso del concreto permeable, como el ejecutado en la construcción de “La Plaza Ciudad del Saber”, primer Edificio Leed Gold en Panamá (Ciudad del saber...2013).

La Administración de Servicios Generales de EE.UU., dirige un programa de diseño sostenible LEED (Liderazgo en energía y diseño ambiental), que tiene como objetivos, optimizar el potencial de sitio, minimizar el consumo de energía no renovable, uso de productos ambientalmente preferibles, proteger y conservar el agua, mejorar la calidad ambiental y optimizar las prácticas de operación y mantenimiento, lo cual contribuye con la protección ambiental y la responsabilidad social, beneficiándose el mundo con la reducción del efecto “Isla de Calor” del desarrollo urbano, cumpliendo con los requisitos gubernamentales GSA (The Geological Society of America®), reduciendo la contaminación, la huella de carbono y la dependencia de los recursos no renovables (Subramanian 2008).

El concreto permeable en Japón, se utiliza como superficies para el tránsito vehicular, peatonal y para estabilizar la vegetación en las márgenes de los ríos (Rosell 1986);

en Australia, es valorado como elemento esencial en el diseño urbano sensible al agua (WSUD - Water Sensitive Urban Design) para mejorar la calidad y cantidad del agua en las zonas urbanas; en México, se inició la construcción de pisos y pavimentos permeables, creando Ecocreto, pavimento ecológico, resultado de la mezcla de agregados pétreos, cemento, agua y aditivo Ecocreto (Gonzales 2007).

Actualmente, la aplicación más común del concreto permeable es en pavimentos de bajo tráfico en calles residenciales, parqueaderos, parques, áreas para peatones y bicicletas, sin embargo, se viene trabajando por mejoras en la calidad. Durante los últimos 20 años, las investigaciones del concreto permeable vienen en crecimiento, principalmente en países como Estados Unidos, Japón, Australia, Chile, Colombia, Brasil, México, Perú, entre otros.

Dado el crecimiento de las poblaciones urbanísticas a nivel mundial y la impermeabilización de la superficie terrestre, el concreto permeable el cual no altera el ciclo natural del agua, ha tomado fuerza en la industria de la construcción, siendo cada vez más común su aparición en especificaciones, potenciado por la conciencia de protección y preservación medioambiental.

2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Según Pérez (2009) en “Estudio experimental de Concreto Permeable elaborado con agregados andesíticos”, las mezclas con 15% de vacíos resultaron a los 28 días con un promedio de 196 kg/cm² en resistencia a compresión, 41 kg/cm² en resistencia a flexión y 117768 kg/cm² en módulo de elasticidad y las mezclas con 20% de vacíos resultaron a los 28 días con un promedio de 165 kg/cm² en resistencia a compresión, 37 kg/cm² en resistencia a flexión y 105378 kg/cm² en módulo de elasticidad. El peso volumétrico de las mezclas con 15% de vacíos resultaron 1944 kg/cm³ y las mezclas con 20% de vacíos 1899 kg/cm³.

López (2010) en “Control de calidad y colocación de concretos permeables” concluyó que debido a las características especiales del concreto permeable, se requirió el control de calidad estricto al dosificar la mezcla. Particularmente el contenido de agua del concreto permeable estuvo limitado a un pequeño rango para proporcionar la fuerza y permeabilidad adecuada, además de evitar la desintegración del cementante y de los agregados y la pérdida de la estructura porosa. Un contenido limitado de cemento ocasionó que el agua y agregados tengan impactos más drásticos que los

experimentados en concretos convencionales. El grado de humedad en el agregado debió ser supervisado cuidadosamente, debido a que el agua es absorbida por el agregado y un exceso de humedad suministrado al agregado puede ser perjudicial. Las pruebas de peso unitario resultan variar entre 1600 y 2000 kg/cm³. Las mezclas de concreto permeable tendieron a unirse fuertemente a las espas por lo que fue necesario que éstas se limpien adecuadamente y se inspeccionen, por otro lado, las mezclas debieron ser descargadas completamente una hora después de que se haya agregado el agua a la mezcla.

Fernández et al. (2011) estudiaron “Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad”, analizó el efecto que tienen sobre 19 mezclas de concreto permeable, la relación agua/cemento, la relación agregado grueso/cemento y el tipo de agregado grueso utilizado (procedencia y tamaño máximo). Los resultados obtenidos permitieron observar tendencias de comportamiento entre las distintas propiedades y la resistencia y permeabilidad del material.

2.1.3. ANTECEDENTES NACIONALES

En la Unión de Concreteras S.A. (UNICON) se estudió el “Concreto ecológico para sistemas urbanos sostenibles”, obteniendo resistencias a la compresión de 140, 175 y 210 Kg/cm² a los 28 días con un tamaño máximo nominal de agregado grueso de 3/4”, con un tiempo de manejabilidad hasta la llegada a obra de 2.5 horas, con un contenido de vacíos de 15 a 20% y un asentamiento de 1 a 2”, el tiempo de fraguado inicial desde la salida de planta es de 7 a 9 horas, con un peso unitario de 2200 a 2300 kg/m³ (Unicon 2011).

Colca et al. (2013), realizaron “Estudio del concreto poroso para su aplicación en la construcción y la influencia de la forma de los agregados, granulometría de los agregados, porcentaje de vacíos y permeabilidad”. Las mezclas elaboradas con agregado angular presentaron los más altos coeficiente de permeabilidad para un mismo porcentaje de vacíos en comparación con mezclas elaboradas con agregado redondeado y reciclado. Comprobaron que las formas de los agregados influyeron en la compactación del concreto al ser colocado, determinando que el agregado angular y reciclado necesitan mayor cantidad de pasta para alcanzar el porcentaje de vacíos de diseño, en comparación con el agregado natural redondeado ya que la forma

redondeada facilita en acomodo de las partículas. Las mezclas diseñadas con el huso granulométrico #08 tienen mejor trabajabilidad que el huso granulométrico #06. El tiempo de mezclado mínimo calculado fue de 2-4 minutos trabajando con relaciones agua/cemento de 0.35 a 0.45.

2.1.4. ANTECEDENTES LOCALES

Azañedo et al. (2007) estudiaron el “Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera la victoria, cemento portland tipo I, con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la ciudad de Cajamarca” realizando diseños de mezcla utilizando el método ACI 211.3R 98 y concluyeron que el diseño con adición de tiras plásticas: 2.11 kg/m³, aditivo reductor de agua: 650 ml por cada 100 kg de material cementante, cemento: 327.18 kg/m³ de concreto, agregado fino: 141.74 kg/m³, agregado grueso (TMN 3/8” del huso granulométrico N° 16): 1392.57 kg/m³, agua: 95.91 kg/m³ y una relación agua/cemento de 0.30, es adecuado para ser usado en pavimentos.

Benites (2014) estudió las “Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo Chemaplast” diseñó una mezcla con porcentaje de vacíos de 20%, aditivo Chemaplast: 252.5 ml/bolsa de cemento, obteniendo resultados de resistencia de 77.02 kg/cm² y la permeabilidad medida a través de su coeficiente de permeabilidad promedio fue de 0.321 cm/s.

Aquino (2015) estudió el “Diseño de concreto ecológico, utilizando agregados de la cantera La Victoria, cemento Portland tipo I y adición de fibras de polipropileno”, las resistencias mecánicas alcanzadas fueron adecuadas para su uso en pavimentos de resistencia a compresión 190.38 kg/cm² y a flexión 30.69 kg/cm².

Pérez (2016), estudió la “Influencia de la fibra de acero y microsílíce en la resistencia a flexión del concreto ecológico $F'_c=210\text{kg/cm}^2$ para pavimentos rígidos”, encontrando una dosificación final (II-D-AM-FA) cuya resistencia a compresión a los 28 días de 267.13 kg/cm² y a flexión de 55.41 kg/cm².

2.1.5. RESULTADOS DE ESTUDIOS ANTERIORES

Para diseñar una mezcla de concreto permeable, fue necesario conocer el proporcionamiento de los materiales en estudios anteriores.

En el proporcionamiento de los materiales, para diseñar una mezcla de concreto permeable, la relación agregado-cemento y agua-cemento, son variables que afectan principalmente sus características mecánicas. Los aditivos afectan directamente la relación agua-cemento, utilizados para intervenir en la trabajabilidad y los tiempos de fraguado, con el fin de mejorar las características del concreto permeable en estado fresco y mejorar su durabilidad y resistencia en estado endurecido (ACI 211.3R-02).

Así tenemos, si existe una mayor dosis de cemento, generará un concreto más resistente, pero disminuirá el porcentaje de vacíos interconectados en el concreto, perdiendo así su capacidad de infiltración. Una cantidad insuficiente de agua, generará una mezcla sin consistencia y con baja resistencia; en cambio una excesiva cantidad de agua, generará una pasta que selle los vacíos de la mezcla y que lave el cemento de la superficie del agregado.

Para que una mezcla sea considerada permeable, debe tener como mínimo un 15%. Es debido a esto, por lo que las mezclas de concreto permeable requieren condiciones especiales, diferentes a las de un concreto convencional, utilizando adiciones para mejorar sus propiedades en estado fresco (disminuir el lavado del cemento) y endurecido (aumentar la resistencia).

La tabla N° 1, muestra los rangos referenciales de proporcionamiento de materiales, tomados en cuenta para el concreto permeable que se elaboró en el presente estudio.

Tabla N° 1. Proporcionamiento de materiales en el concreto permeable.

PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO PERMEABLE	
MATERIAL	RANGO
Material cementante (kg/m ³)	270 a 415
Agregado (kg/m ³)	1190 a 1480
Relación agua-cemento (peso)	0.26 a 0.45
Relación agregado grueso-cemento (peso)	4 a 4.5:1
Relación agregado fino-agregado grueso (peso)	0 a 1:1

Fuente: ACI 211.3R-02.

En la tabla N° 2, se muestran las propiedades típicas obtenidas en concreto permeable.

Tabla N° 2. Propiedades típicas en el concreto permeable.

PROPIEDADES TÍPICAS EN EL CONCRETO PERMEABLE	
PROPIEDAD	RANGO
Revenimiento (mm)	< 20
Peso Unitario (kg/m ³)	1600 - 2000
Tiempo de fraguado ¹ (hora)	1
Porosidad, % (volumen)	15 – 35
Permeabilidad ² L/min/m ² (cm/seg)	120 – 320 (0.20-0.54)
Resistencia a la compresión (MPa)	2.8 – 28
Resistencia a la flexión (MPa)	1 – 3.8
Contracción	200 x 10 ⁴

Fuente: El ACI 211.3R-02

¹ con aditivos químicos, se puede extender el tiempo.

² en laboratorio se han encontrado valores de velocidad de flujo tan altos como 700 lt/m²/min.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CONCRETO PERMEABLE

a) DEFINICIÓN

El ACI 211.3R-02, (2002) describe al concreto permeable como un material de gradación abierta que está unido por pega de cemento, cuya estructura permite el paso del agua, sin embargo, proporciona resistencia estructural moderada.

El concreto permeable es un concreto hidráulico de asentamiento cero, integrado por componentes que son el cemento portland, agua, aire y agregado grueso, con poco o despreciando al agregado fino. La combinación de los componentes forma una aglomeración de agregado grueso rodeados por una delgada capa de pasta cementante, endurecida en sus puntos de contacto. La estructura del concreto permeable se caracteriza por la existencia de poros entre el agregado grueso que van

en tamaño desde 0,08 hasta 0,32 pulgadas (de 2 a 8 mm), que permite el paso del agua por medio de él (ACI 522.R-10).

b) CLASIFICACIÓN

El concreto permeable se considera un tipo especial de concreto poroso. Se clasifica en dos tipos según (ACI 522.R-10):

- Concreto de agregado ligero, donde la porosidad se presenta en el componente del agregado de la mezcla, que se caracteriza por ser extremadamente poroso y resulta un concreto con gran porcentaje de huecos, relativamente no conectados.
- Concreto permeable, la porosidad en la mezcla no es debida a los agregados sino al poco contenido o nada de agregado fino en la mezcla y contiene gran porcentaje de huecos conectados entre sí.

c) DURABILIDAD

Han surgido preguntas de durabilidad del concreto permeable al hielo y deshielo. Al concreto permeable en ambientes de congelamiento no se le debe permitir que se sature completamente. Pruebas de congelación y descongelación del concreto permeable indican pobre durabilidad si el sistema de vacíos se llena con agua. Las pruebas han indicado que la durabilidad se mejora cuando el vacío estructural permite drenar el agua (NRMCA 2009).

La EPA recomienda una limpieza habitual del pavimento de concreto permeable para prevenir obstrucciones. Esta limpieza puede realizarse mediante lavado a la alta presión. A pesar de que el concreto permeable y el suelo subyacente tengan excelentes capacidades de infiltración, es posible que no se logre eliminar todos los contaminantes.

No se han registrado investigaciones sobre la resistencia del concreto permeable al ataque agresivo de sulfatos o agua ácida, que puede filtrarse a través de él, por lo tanto, existe la precaución al utilizarlo en los ambientes donde exista agua con componentes agresivos como los sulfatos o agua acida. En situaciones críticas, para preservar la calidad del agua subterránea se recomiendan también ensayos de lluvia según Ready Mixed Concrete Association (NRMCA 2009).

2.2.2. MATERIALES

a) AGREGADOS

Los agregados finos y gruesos ocupan normalmente en un concreto convencional del 60% al 75% del volumen (70% a 85% en peso), en un concreto permeable el mayor constituyente viene a ser el agregado grueso, el agregado fino se limita a un porcentaje máximo de 15% (ACI 522.R-10).

El proporcionamiento de la mezcla de un concreto permeable es influenciado principalmente por la granulometría y la naturaleza de las partículas del agregado.

Típicamente, los agregados finos no deben ser usados en mezclas de concreto permeable, ya que tienden a comprometer la capacidad de conexión del sistema poroso.

Los agregados finos y gruesos deberán cumplir con los requisitos de la Norma ASTM C 33 y ASTM D 448.

- **Agregado Grueso**

Las gradaciones más comunes de agregado grueso, utilizadas en concreto permeable, constituyen los tamices de tamaño de 9.5 a 2.36 mm del huso granulométrico N° 8, 12.5 a 4.75 mm del huso granulométrico N° 7 y 19.0 a 4.75 mm del huso granulométrico N° 67 (ACI 522.R-10).

El agregado grueso en concreto permeable refiere lo siguiente según Zevallos (2015):

1. A mayor tamaño de agregado grueso, aumenta en el concreto la permeabilidad y disminuye la resistencia.
2. Un agregado de un solo tamaño, aumenta en el concreto la porosidad y disminuye la resistencia.
3. Un agregado bien gradado, disminuye la porosidad en el concreto y en consecuencia aumenta la resistencia.

El principio que justifica el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado o existe una mejor gradación de éste, se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas.

En estudios previos, se han utilizado en el diseño de mezcla de concreto permeable, tanto agregados de un solo tamaño, como clasificados de entre 3/4" y 3/8" (19 y 9.5 mm), también se han utilizado agregados redondeados o triturados; llegando a obtener resultados diversos en cuanto a permeabilidad y resistencia.

En general, en los agregados deben ser evitadas las partículas largas o escamosas. Deben ser partículas duras y limpias, libres de recubrimiento como polvo, arcilla, o sustancias químicas absorbidas que puedan ser perjudiciales a la adherencia pasta - agregado o a la hidratación del cemento.

- **Agregado Fino**

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz # 4.

La función del agregado fino o arena en el concreto es de llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto.

En el concreto permeable, el limitado uso de la arena reflejará aspereza en la mezcla y un exceso de arena demandará mayor cantidad de agua, producirá un asentamiento y disminuirá la permeabilidad. Entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y requiere mayor cantidad de agua por lo tanto se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación de agua-cemento, por lo cual la arena será limitadamente utilizada en el diseño de mezcla de concreto permeable.

Las especificaciones permiten que el porcentaje que pasa por el tamiz N° 50 esté entre 10% y 30%. Es de tener en cuenta, que la cantidad de agregado fino que pasa los tamices N° 50 y N° 100 intervienen en la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial pero la exudación del concreto es mayor.

El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, deberá estar entre 2.3 y 3.1, para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina y cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas ásperas.

La presencia de materia orgánica en la arena que va a utilizarse en la mezcla de concreto, llega a interrumpir parcial o totalmente el proceso de fraguado del cemento. En cuanto a la procedencia, el agregado fino deberá proceder preferentemente de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad. Existen limitaciones en la proporción de agregado fino no triturado a emplear en las mezclas, la cual se señala como una proporción máxima no superior al 10% de la masa total del agregado combinado y sin que supere el porcentaje de agregado fino triturado empleado en la mezcla, la limitación de la cantidad de arena rodada o no triturada que puede incorporarse a la mezcla, se hace por temor a una disminución de la rigidez final de ésta.

La limpieza del agregado fino, es también un factor importante que compromete la calidad del concreto por lo cual, deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas, para evitar que se presenten comportamientos extraños del material dentro de la mezcla, tales como reacciones químicas, pérdida de estabilidad de la mezcla, abundamientos, entre otros.

El material que se triture para obtener agregado fino, deberá cumplir las condiciones exigidas al agregado grueso, sobre el coeficiente de desgaste Los Ángeles. recomendado usar agregado fino en cualquier caso que proceda de agregado grueso con coeficiente de desgaste de Los Ángeles inferior a 25 para capas de rodadura e intermedias y a 30 para capas de base.

Respecto a los fenómenos de adhesividad del agregado fino - ligante, hay que tener en cuenta que las acciones químicas o químico - físicas, en las partículas de menor tamaño son más complejas debido a su mayor superficie específica, facilidad para acumular humedad y gran heterogeneidad de su naturaleza, que determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad, absorción, etc.

b) MATERIAL CEMENTANTE

El cemento Portland para la elaboración del concreto permeable, debe satisfacer las normas ASTM C 150, ASTM C 595 o ASTM C 1157. El material cementante tiene como función principal, aglomerar las partículas gruesas. El cemento Portland puede ser sustituido por ceniza volante, cemento de escoria granulada y humo de sílice (Hidrocreto 2015).

La ceniza volante es un conglomerado hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker portland, escoria de alto horno y usualmente sulfato de calcio. Por su parte el cemento de escoria granulado, es un conglomerado hidráulico de la molienda conjunta de Clinker portland, humo de sílice y usualmente sulfato de calcio. Finalmente, el humo de sílice, es un conglomerado hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker Portland y mayoritariamente escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio, los cuales deben satisfacer los requisitos de las normas ASTM C 618, ASTM C 989, y ASTM C 1240, respectivamente, dando como resultado diferentes propiedades al concreto permeable y respondiendo a diferentes necesidades (Hidrocreto 2015).

Es importante controlar la cantidad de material cementante agregada a la mezcla, debido a que una mayor dosis de cementante generará un concreto más resistente, pero ocasionará una disminución en el porcentaje de vacíos interconectados dentro del concreto, perdiendo su capacidad de infiltración. Para la correcta dosificación de material cementante es recomendable utilizar una cantidad que oscile entre los 270 a 415 kg/m³, según los requisitos de resistencia y permeabilidad (ACI 522.R. 2010).

c) AGUA

El agua utilizada, debe cumplir con la norma ACI 301. El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto va a crear porosidad, razón por la que en un concreto convencional si se requiera una mezcla bastante fluida no se logra con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El agua utilizada debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.

El límite permitido de la cantidad de sustancias dañinas que se encuentran en el agua y que inciden en la calidad del concreto son:

- El agua que contenga menos de 2,000 p.p.m. de sólidos disueltos generalmente es apta para concreto; si tiene más de esta cantidad debe ensayarse para determinar sus efectos sobre la resistencia del concreto.
- Si se registra presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio o de potasio en el agua de la mezcla, estos pueden reaccionar con el cemento produciendo rápido fraguado; en altas concentraciones también disminuyen la resistencia del concreto.
- El agua que contenga hasta 10,000 p.p.m. de sulfato de sodio, puede ser usada sin problemas para el concreto.
- Las aguas ácidas con pH por debajo de 3, pueden crear problemas en el manejo y deben ser evitadas en lo posible.
- Cuando el agua contiene aceite mineral (petróleo), en concentraciones superiores a 2%, pueden reducir la resistencia del concreto en un 20%.
- Cuando la salinidad del agua del mar es menor del 3.5%, se puede utilizar en concretos no reforzados y la resistencia del mismo disminuye en un 12%, pero si la salinidad aumenta al 5%, la reducción de la resistencia es del 30%.

Del mismo modo, el agua del curado tiene por objeto mantener el concreto saturado para que se logre la casi total hidratación del cemento, permitiendo el incremento de la resistencia, por tanto, las sustancias presentes en el agua para el curado pueden producir manchas en el concreto y atacarlo causando su deterioro, dependiendo del tipo de sustancias presentes.

En cuanto a la dosificación en el concreto permeable, debe ser proporcionado con una relación agua-cemento relativamente baja, ya que una cantidad excesiva de agua conducirá a drenar pasta y al atascamiento del sistema de los poros. Por lo que, la cantidad de agua agregada debe ser controlada y supervisada cuidadosamente.

d) ADITIVOS

Según ensayos realizados en el área de aditivos para concreto permeable por el Comité ACI 522, se recomienda aditivos químicos retardadores de fragua, reductores de agua de alto rango y plastificantes que deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM C 494.

Las sustancias más empleadas para fabricar los aditivos son los lignosulfonatos, sales, modificaciones y derivados de ácidos lignosulfonados, ácidos hidroxilados carboxílicos y sus sales, carbohidratos y polioles etc.

Los plastificantes son productos químicos, que se pueden añadir al concreto para mejorar su manejabilidad. La resistencia del concreto es inversamente proporcional a la cantidad de agua añadida o al coeficiente de la relación agua - cemento (a/c). Con el fin de producir concretos más resistentes, se reduce la cantidad de agua añadida, lo que consigue mezclas de difícil manejo, haciendo necesario el uso de los aditivos plastificantes o superplastificantes.

Los plastificantes también son añadidos, cuando son añadidas cenizas puzolánicas a la mezcla, para obtener hormigones de alta resistencia u hormigones reforzados con fibras.

Normalmente el porcentaje de plastificante que se añade a las mezclas es del 2%. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la mayoría de los plastificantes disponibles en el comercio vienen disueltos en agua, por lo cual al añadirlo a la mezcla también se está añadiendo un porcentaje de agua. Añadir una cantidad excesiva puede dar lugar a que el concreto presente segregación, lo cual no es aconsejable.

Con la incorporación del aditivo a la mezcla de concreto permeable, se mejora trabajabilidad, se controla la exudación en estado fresco, se controla el tiempo de fraguado, se mejora la resistencia inicial de la pasta de cemento y se mejora la durabilidad en estado endurecido.

Al incorporar aditivo a la mezcla de concreto permeable, se tendrá en cuenta que el aditivo como tal mejorará la impermeabilidad, por lo cual se deberá elegir cuidadosamente la proporción a utilizar en el diseño de mezcla.

- **Aditivos que modifican las propiedades del concreto fresco**

La ionización de los filamentos del aditivo, producen la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva defloculación. Los granos de cemento quedan individualizados y defloculados, facilitándose aún más el mojado, lo que produce una hidratación y reducción del esfuerzo de cizalle, necesario para poner en movimiento el hormigón fresco, lo que explica su efecto como plastificante.

Por otro lado, las moléculas del aditivo son absorbidas y se orientan en la superficie de los granos de cemento en un espesor de varias moléculas, de lo que resulta una lubricación de las partículas. Este mecanismo puede producir incorporación de aire en forma de microburbujas esféricas, al evitar que el aire atrapado se disuelva o salga a la superficie, actividad que aumenta con la longitud de su cadena molecular.

- **Aditivos que permiten la reducción del agua en el diseño de concreto**

Se definen como aditivos que permiten para una misma docilidad, una reducción de la cantidad de agua en un concreto dado o que, para una misma cantidad de agua, aumentan considerablemente esta docilidad o incluso permiten obtener estos dos efectos simultáneamente.

La acción de los aditivos plastificantes puede ser causada por el efecto combinado de acciones de tipo físico, químico y físico-químico, dependiendo de la preponderancia de alguna de ellas en su composición.

La acción física deriva principalmente de la incorporación de aire que producen algunos aditivos, cuyas burbujas, al actuar como especies de rodamientos entre las partículas sólidas, disminuyen la fricción interna.

La acción química proviene principalmente de una disminución de la velocidad de hidratación de los constituyentes del cemento, especialmente de los aluminatos. Se obtiene de este modo una acción más completa (mejor mojado) de los granos de cemento, lo que permite también disminuir el roce interno entre las partículas.

El principal efecto producido por los aditivos plastificadores - reductores de agua, incide sobre la trabajabilidad del concreto en su estado fresco. Este efecto puede traducirse en una reducción de la dosis de agua, si se mantiene constante la docilidad o fluidez del concreto, o en un aumento de su docilidad, si se mantiene constante la dosis de agua del hormigón.

- **Aditivos superplastificantes o fluidificantes**

Constituyen una evolución de los aditivos reductores de agua, en que la absorción y la capacidad de dispersión del cemento son mucho más acentuadas.

Esto se traduce en un enorme aumento de la trabajabilidad del hormigón, sin modificar la cantidad de agua. El resultado es un hormigón muy fluido (autonivelante), de baja tendencia a la segregación.

Pueden utilizarse también como reductores de agua, siendo posible en este caso, dado su apreciable efecto, alcanzar disminuciones en la cantidad de agua entre 20% y 30%. Ello permite obtener un fuerte incremento en las resistencias, especialmente en las primeras edades, por lo que pueden utilizarse como aceleradores de endurecimiento o aditivos para concreto de alta resistencia.

Los superplastificantes se emplean en dosis mayores que los plastificantes reductores de agua, (0.8 a 3%) y pueden ser agregados al final del amasado sin diluir previamente en el agua.

Otro factor importante a tener en consideración, es sobre la base de ensayos de laboratorio y aplicaciones en obra, que indican que la sobredosis de aditivo superplastificantes o su aplicación en un hormigón de composición inadecuada, puede producir una fuerte segregación, depositándose las partículas sólidas en una masa compacta y dura, mientras el agua de amasado sube a la superficie del hormigón.

e) FIBRAS SINTÉTICAS

La norma ASTM C 1116, define las fibras como filamentos finos y elongados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de concreto fresco. A su vez, ACI 544 considera como fibras para el concreto, los filamentos discontinuos de acero, fibras sintéticas, de vidrio y naturales.

El avance de la tecnología ha permitido crear una gran cantidad de materiales sintéticos, tras la idea de reforzar los materiales constructivos, similar a la observada en el adobe, y así dar refuerzo discontinuo a hormigones y morteros.

- **Fibras de Polipropileno**

En los últimos cuarenta años han salido al mercado una gran variedad de fibras sintéticas entre las que se pueden mencionar las fibras acrílicas, de carbono, poliéster, vidrio, polietileno, nylon, polipropileno, entre otras, siendo las dos últimas fibras aquéllas de mayor desarrollo, pues han permitido mejorar, a un costo razonable, algunas propiedades de morteros y concretos y han facilitado la creación de nuevos materiales de construcción.

Las fibras son relativamente estables cuando forman parte del mortero o concreto, aunque la resistencia a factores ambientales, como la acción hielo - deshielo, depende de la calidad de los materiales presentes en la matriz de concreto, no difiere sustancialmente de la de un concreto convencional. Las fibras son efectivas al reducir el daño por congelamiento debido a sus propiedades de control de fisuración.

Aunque se han usado dosificaciones en volúmenes mayores, la aplicación de fibras sintéticas está en el rango de 0,1 a 0,3%, volumen al cual la resistencia del concreto no se ve afectada.

La fibra de polipropileno fue pionera en el mercado para su uso en concretos y es producida como monofilamento de sección circular, el cual es luego cortado según la longitud requerida. Esta fibra también es manufacturada como cinta de sección rectangular. La fibra de polipropileno es hidrofóbica, disminuyendo por ello comparativamente con otras fibras (nylon) su adherencia y además a longitudes mayores poseen mayor dificultad en su dispersión.

Los concretos reforzados con fibras muestran concretos con deflexión lineal bajo carga hasta la primera fisura, seguida, aparentemente, por una transferencia de la carga hacia las fibras, permitiendo un incremento en la carga hasta la rotura de las fibras.

La capacidad de soportar carga por parte del hormigón, está definida como tenacidad (área bajo la curva: carga - deformación), la adición de fibras al hormigón incrementa significativamente esta capacidad del material. Es decir, un hormigón reforzado con fibras, puede soportar una carga de flexión mayor que aquélla en la cual aparece la primera fisura en la matriz.

La fibra de polipropileno es un elemento de adición al concreto permeable, que tiene el objetivo de controlar la fisuración plástica por secado, especialmente en elementos de sección esbelta (como muros delgados) o superficies expuestas a la evaporación (losas), mejorando el acabado de los elementos vaciados y disminuyendo la presencia de fisuras en la superficie (Unicon).

En la presente investigación se usará la metodología del ACI 544 para Concreto reforzado con fibras (Concreto Fibroreforzado). El American Concrete Institute (ACI) define al Concreto Fibroreforzado como un material compuesto, hecho de una matriz de concreto hidráulico de una fase reforzante de fibras. Estas fibras pueden reducir notablemente la formación de grietas por contracción plástica o por secado e incrementar la resistencia a la flexión.

2.3. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA

Para la dosificación del diseño de mezcla del concreto permeable, son tomados como base los procedimientos del Método del Comité 211.3R-02 del ACI, recomendaciones del Comité 522, estudios realizados por: Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Portland Cement Pervious Concrete Pavement; el sustento reside en que, siguiendo estas recomendaciones y experiencias podemos obtener una estructura de concreto con contenido de vacíos importantes a diferencia de un concreto convencional, por lo que la cantidad de mortero debe ser suficiente para recubrir todas las partículas de agregado y formar puentes de adherencia.

Básicamente el comité ACI 522, se apoyó en el trabajo desarrollado por el comité ACI 211.3R-02, en su apéndice N° 6.

2.3.1. RELACIÓN AGUA - CEMENTO

La relación agua-cemento determina la porosidad de la pasta de cemento endurecida en cualquier etapa de hidratación. Esta relación constituye un parámetro importante de la composición del concreto permeable. Tiene influencia directa sobre la resistencia, durabilidad y retracción. Esta relación, agua-cemento, es el valor más importante de la tecnología del concreto, determinando la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

La relación agua-cemento (a/c) es el cociente entre la cantidad de agua y de cemento existentes en el concreto fresco, es decir, se calcula dividiendo la masa de agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de concreto.

$$r = a/c$$

Ecuación 1. Relación agua - cemento

Donde:

r : Relación agua - cemento

a : Masa del agua

c : Masa del cemento

El valor de “ r ” aumenta al incrementar la cantidad de agua y decrece al aumentar el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua-cemento, son más favorables las propiedades de la pasta de cemento endurecida en cuanto a resistencia.

En el caso del concreto permeable, el contenido óptimo de agua produce una pasta con apariencia de brillo de un metal mojado o brillante (TRMC,). Utilizando una cantidad insuficiente de agua, dará como resultado una mezcla sin consistencia y tenderá a causar formación de bolas en el mezclador y no permitirá una distribución uniforme de los materiales lo cual resultará en una baja resistencia del concreto. Una cantidad excesiva de agua, causa que la pasta fluya y selle los vacíos de la mezcla, además de desplazar el cemento dejando expuesto al agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial.

La relación agua-cemento, depende principalmente de las características de granulometría y físicas de los agregados gruesos y del contenido de material cementante de la mezcla. Para el concreto permeable, la relación agua-cemento, debe variar en el rango de 0.26 a 0.45.

Los valores más altos de a/c , sólo deberán utilizarse si el hormigón está ligeramente compactado y viceversa.

La relación a/c frente a la resistencia a la compresión, que es normal utilizar en el hormigón convencional, no se aplica a concreto permeable.

2.3.2. RELACIÓN AGREGADO - CEMENTO

La relación agregado-cemento, comúnmente varía entre 4:1 a 4.5:1 en peso, pero ésta depende fundamentalmente del tipo de agregado.

Tanto la relación agua-cemento y la relación agregado-cemento, deben satisfacer las características de permeabilidad, capacidad de carga y durabilidad.

2.3.3. CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

Pruebas de densidad seca, hechas por NAA-NRMCA (National Aggegates Association - National Ready Mixed Concrete Association) demuestran que la densidad seca del agregado grueso, según lo determinado por ASTM C 29/ C 29M, puede ser utilizado eficazmente en la dosificación de concreto permeable.

$$\frac{b}{b_0} = \frac{\text{Peso del agregado grueso}}{\text{Pusc del Agregado grueso}}$$

Ecuación 2. Densidad seca del agregado grueso

Donde:

b/b_0 = Volumen seco varillado del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto.

b = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto.

b_0 = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de agregado grueso.

El valor b/b_0 , automáticamente se compensa por los efectos de las diferentes formas de las partículas de los agregados, la graduación o tamaño y el peso específico. Además, para un rango de agregados de tamaño máximo nominal normalmente usado para concreto permeable (3/8" a 3/4"), los valores b/b_0 son muy similares.

La tabla N° 3, muestra los valores de b/b_0 para agregado grueso de tamaños N°8 (3/8") y N° 67 (3/4"), para un contenido de agregado fino de 0%, 10% y 20% del total de agregado para concreto permeable.

Tabla N° 3. Porcentaje de agregado grueso.

Contenido de agregado fino:	b/b ₀ :	
	N° 8 (3/8")	N° 67 (3/4")
%		
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: ACI 522.R – 10, 2010.

2.3.4. PORCENTAJE DE VACÍOS

Para garantizar la percolación a través del concreto permeable, el contenido de vacíos de diseño, calculado como porcentaje de aire, por el método gravimétrico (ASTM C 138), según ACI 211.3R - 02, debe ser de 15 % o mayor (Gráfica N° 01).

Para 15% de contenido de vacíos, la resistencia a la compresión del concreto permeable es 20.68 MPa (3 000 Psi) a los 28 días, para agregado grueso del uso granulométrico 67 (Gráfica N° 02).

A mayor contenido de vacíos, mayor es la tasa de percolación, pero menor es la resistencia al esfuerzo de compresión del concreto permeable.

2.3.5. PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLA

El ACI 211.3R (2002) proporciona un método para la dosificación de concreto permeable de asentamiento cero, que se utiliza para aceras y otras aplicaciones donde se necesitan drenaje y percolación.

El procedimiento de dosificación de mezcla de concreto permeable, se basa en el volumen de pasta necesario para mantener unidas las partículas de agregados, mientras se mantiene la estructura de vacíos

En la presente investigación, se sigue el siguiente procedimiento de dosificación, desarrollado para producir los especímenes de prueba de concreto permeable, descritos en la sección 6.7.1, del comité ACI 522.R-10 "Reporte sobre Concreto Permeable":

1. Cálculo de la resistencia a la compresión de diseño (F'_{cr}), a partir de la resistencia a la compresión requerida (F'_c) con la Ecuación 3.

$$f'_{cr} = 1.20 \times f'_c$$

Ecuación 3. Sexto criterio. Según la condición de ejecución de obra. Instituto español.

2. Elección de la consistencia de la mezcla del concreto permeable, teniendo en cuenta su característica principal de tener un asentamiento inferior a 2mm (Tabla N° 4).
3. Se elige el tamaño de agregado grueso y para esto se tiene de referencia el tamaño máximo recomendado por el ACI 522.R-10, el cual presenta los husos granulométricos recomendados para diseños de concreto permeable (Tabla N° 5).
4. Se selecciona la relación agua-cemento (a/c), para lo cual se tiene en cuenta los parámetros según ACI 211.3R-02 en el apéndice 6, donde recomienda valores entre 0.26 a 0.45, para garantizar el recubrimiento al agregado y la estabilidad a la mezcla.
5. Se elige el porcentaje de agregado fino, del cual dependerá el valor de b/b_0 (Volumen seco varillado del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto), tabla N° 6. Seguidamente se obtiene el peso del agregado grueso con la ecuación 2 descrita anteriormente.
6. Se determina la cantidad de cemento.

Previamente se obtiene el contenido de vacíos, según la resistencia a compresión que se desea obtener, haciendo uso de la gráfica N° 2. Después de definido el contenido de vacíos, se obtiene el contenido de pasta de la gráfica N° 03. Finalmente, se obtiene el contenido de cemento a partir de la Ecuación 4.

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Pe del cemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Pe del agua}}$$

Ecuación 4. Volumen de pasta

La gráfica N° 01, nos proporciona el contenido de vacíos versus la percolación, basada en pruebas y métodos de ensayo de la NAA-MRMCA.

7. Se determina la cantidad de agua de diseño. A partir de la relación agua - cemento (a/c) y de la cantidad de cemento conocidos, se determina el volumen unitario de agua de diseño, con la Ecuación 5:

$$Agua = \frac{a}{c} * Cemento$$

Ecuación 5. Agua de diseño

8. Se determina el peso seco del agregado fino. Haciendo uso del método de volúmenes absolutos, según ACI Comité 211.3R-02, se determina el volumen absoluto de los pesos de los materiales (cemento, agua, agregado grueso, aire; cada uno dividido entre su peso específico). El volumen absoluto de agregado fino, es la diferencia entre la unidad y la sumatoria de los volúmenes absolutos de los materiales y finalmente el peso del agregado fino seco es el producto del volumen absoluto de agregado fino por el peso específico del agregado fino. Como se observa en las Ecuaciones 6 y 7:

$$Volumen\ absoluto\ de\ ag.\ fino = 1 - \Sigma (Volumen\ absoluto\ de\ materiales)$$

Ecuación 6. Volumen absoluto de agregado fino

$$Peso\ del\ ag.\ fino\ seco = Volumen\ absoluto\ de\ ag.\ fino * (Pe\ ag.\ fino)$$

Ecuación 7. Peso del agregado fino seco

9. Se plasma el resumen de los pesos secos de los materiales por m^3 de concreto permeable (Materiales de diseño).
10. Se realiza la corrección por humedad de los agregados de los materiales de diseño (agregado fino y grueso); seguidamente se obtiene la cantidad de agua real que se debe añadir a la tanda puesto que los agregados se encuentran en estado húmedo, por lo cual sus pesos secos se incrementan en el porcentaje de agua que contengan, tanto agua absorbida como agua superficial. Así es que el agua añadida a la tanda, debe ser reducida en una cantidad igual a la humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal el contenido de humedad menos la absorción del agregado.
11. Se plasma el resumen de los pesos húmedos de los materiales por m^3 de concreto permeable (Materiales de obra).

12. Determinación de las proporciones en peso de materiales de diseño y de obra.
13. Reajuste del diseño de mezcla de concreto permeable.
14. Utilización de aditivo plastificante en el diseño de concreto permeable.
15. Utilización de fibra de polipropileno en el diseño de concreto permeable.

2.3.6. TABLAS USADAS EN EL DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE

Tabla N° 4. Consistencia.

Consistencia	Asentamiento
Sumamente Seco	--
Muy Seco	< 2 mm
Seco	0" – 1"
Plástico Seco	1" – 3"
Plástica	3" – 5"
Muy Plástica	5" – 7 1/2"

Fuente: Norma ACI 211.3R-02.

Tabla N° 5. Tamaño máximo de agregado.

Huso granulométrico N°	Tamaño del agregado	
	TMN	
	(máx.)	(mín.)
67	3/4"	4
7	1/2"	16
8	3/8"	8
89	3/8"	16

Fuente: Norma ACI 211.3R-02, ASTM C33.

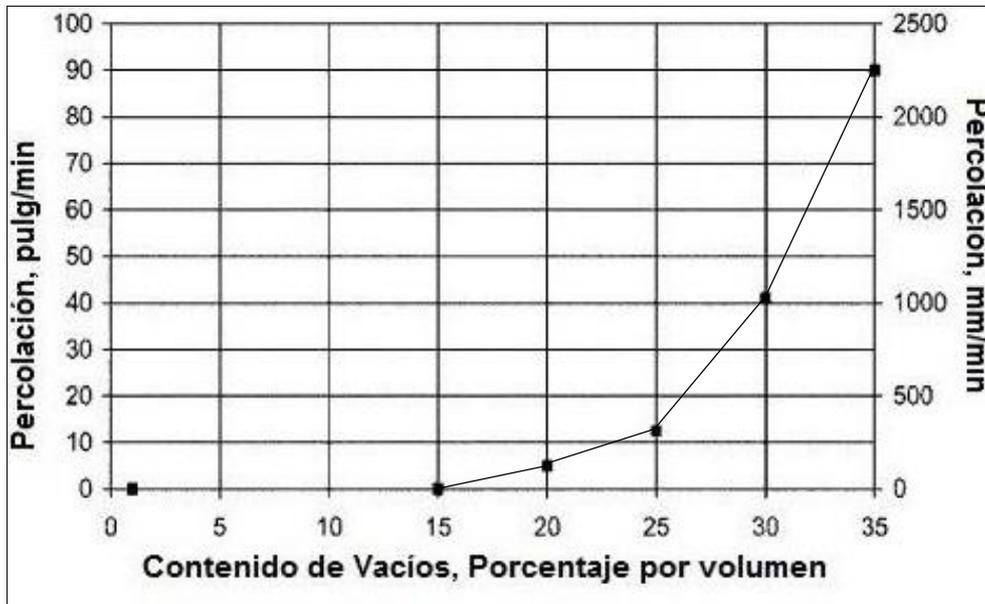
Tabla N° 6. Peso volumétrico seco compactado del agregado grueso b/b_0 .

% Agregado fino	b/b_0	
	N° 8 3/8 "	N° 67 3/4 "
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: Norma ACI 211.3R-02, Apéndice 6, tabla A6.1.

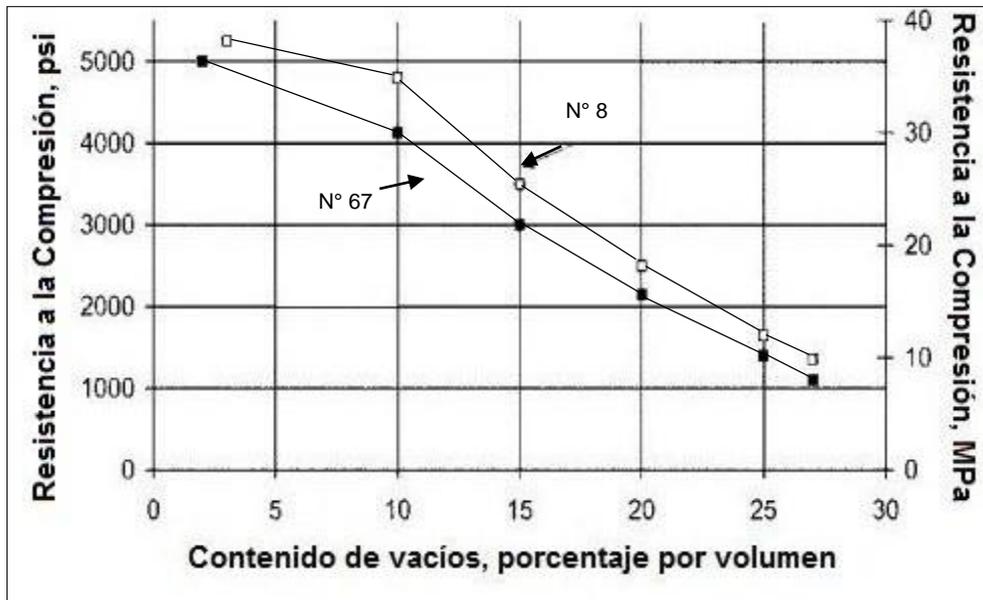
2.3.7. GRÁFICAS USADAS EN EL DISEÑO DEL CONCRETO PERMEABLE

Gráfica N° 1. Contenido de vacíos versus Percolación del concreto permeable.



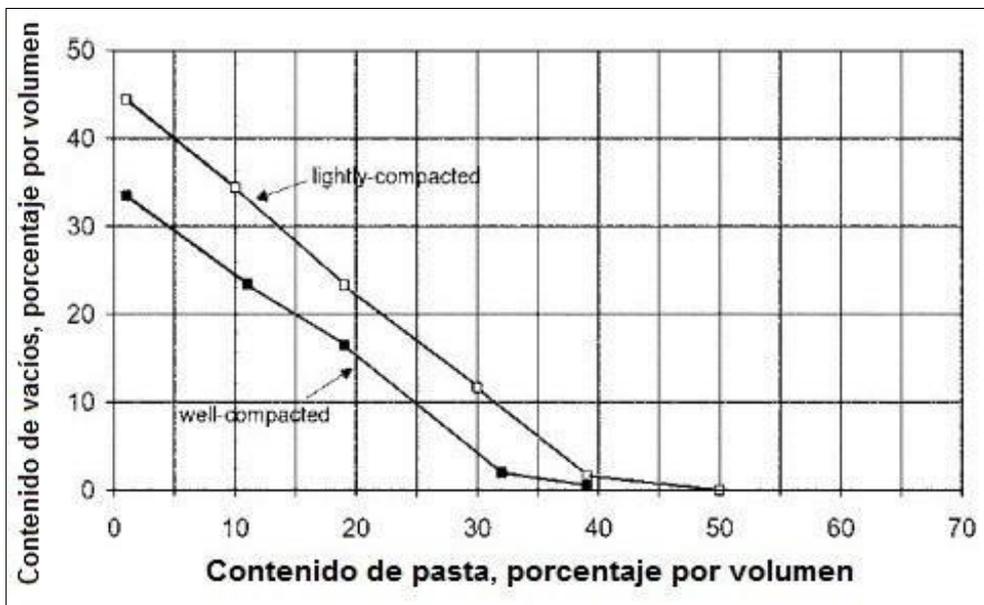
Fuente: ACI 211.3R-02, Apéndice 6, pruebas y métodos de ensayo de la NAA – MRMCA.

Gráfica N° 2. Contenido de vacíos versus Resistencia a compresión del concreto permeable.



Fuente: ACI 211.3R-02, Apéndice 6, basada en pruebas y métodos de ensayo de la NAA – MRMCA.

Gráfica N° 3. Contenido de pasta versus vacíos para agregados del huso granulométrico N° 67.



Fuente: ACI 211.3R-02, Apéndice 6.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

3.1. MATERIALES USADOS EN LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. AGREGADOS

El agregado fino y grueso es obtenido de la cantera “Tartar” (Imagen N° 1), ubicada a orillas del río Chonta, en el distrito de Baños del Inca, en las coordenadas geográficas: 07°08'59.08" S, 78°27'58.15" W y UTM: 7986.04 E, 9208915.95 N.

Se ha obtenido agregado grueso de TM: 3/4" (grava), de perfil angular que es un material de tipo aluvial y obtenido por trituración. El agregado fino (arena) también es procedente de la trituración del material aluvial.

La cantera Tartar, está constituida geológicamente por material aluvial de rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias (riolita, traquita, sienita, dacita, diorita, arenisca, etc.), los afloramientos de la zona pertenecen al piso del cretáceo inferior, característica de la formación Llacanora.

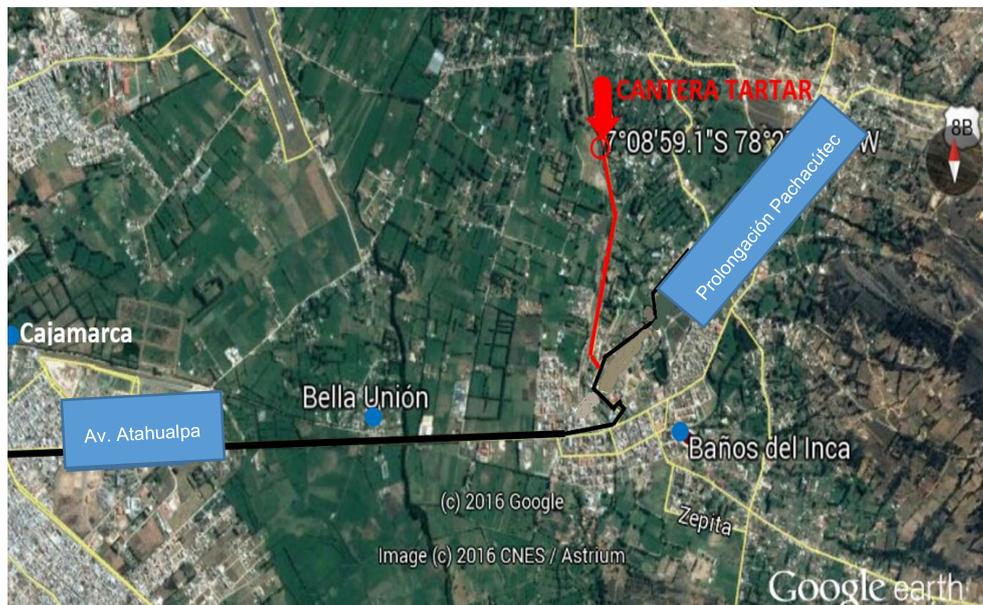


Imagen N° 1. Ubicación geográfica de la cantera Tartar

Fuente: Google Earth, 2017.

- **Agregado Grueso**

Se ha utilizado agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4 de pulgada (Imagen N° 2), que se encuentra dentro del uso granulométrico N° 67, con un peso

específico de masa 2.54 gr/cm^3 y un peso unitario compactado de 1549.77 Kg/m^3 , valores que se encuentran dentro de los rangos aceptables para ser utilizados en el diseño de concreto.



Imagen N° 2. Agregado grueso utilizado en diseños de mezcla

- **Agregado Fino**

El agregado fino utilizado (Imagen N° 3), presenta valores de peso específico de masa de 2.61 gr/cm^2 y de peso unitario compactado de $1729,70 \text{ Kg/m}^3$, correctos para elaboración de concreto.



Imagen N° 3. Agregado fino utilizado en diseños de mezcla

La Tabla N° 7 presenta el resumen de las propiedades de los agregados empleados en el diseño de mezcla del concreto permeable procedentes de la cantera “Tartar”.

Tabla N° 7. Resumen de las propiedades de los agregados

CARACTERÍSTICAS	FINO	GRUESO	UNIDAD
Peso Específico de Masa	2.61	2.54	gr/cm ³
Peso Específico de Masa Saturada Con Superficie Seca	2.64	2.57	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto Seco	1615.97	1387.95	Kg/m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1729.70	1549.77	Kg/m ³
Contenido de Humedad	6.50	0.30	%
Absorción	1.17	1.11	%
Módulo de Finura	3.12	6.80	-
Tamaño Máximo Nominal	-	¾	Pulg.
Partículas < Tamiz N° 200	1.00	0.02	%
Abrasión del agregado grueso	-	29.51	%

Fuente: Anexo I - Propiedades físicas y mecánicas de los agregados

3.1.2. CEMENTO ANTISALITRE MS



Imagen N° 4: Cemento Antisalitre Ms

Fuente: Cementos Pacasmayo

Es utilizado Cemento Antisalitre MS (MH)(R) (Imagen N° 4), que cumple con los requisitos de la norma ASTM C 1157 y NTP 334.082, y posee peso específico de 2.95 gr/cm³.

Es un Cemento Portland con adiciones de escoria de altos hornos, una de sus propiedades principales es la resistencia moderada a los sulfatos (componente MS), moderado calor de hidratación (componente MH) y resistencia a los agregados álcalis reactivos (componente R).

Dentro de sus aplicaciones se tiene proyectos en contacto con ambientes y suelos húmedos – salitrosos, obras con presencia de agregados álcali – reactivos, en pavimentos y losas. (www.cementospacasmayo.com)

En la tabla N° 8, se muestran las normas y características físicas del Cemento Antisaltre MS.

Tabla N° 8. Características del Cemento Portland tipo MS.

Normas ASTM y NTP	ASTM C 1157 NTP 334. 082
Resistencia a la Compresión	
3 días, kg/cm ² , mínimo	237
7 días, kg/cm ² , mínimo	320
28 días, kg/cm ² , mínimo	441
Tiempo de Fraguado Vicat	
Inicial, mínimo (min)	179
Final, máximo (min)	358
Expansión en Autoclave	
%	0.07
Resistencia a los Sulfatos	
% Expansión	0.05 (6 meses)
Calor de Hidratación	
7 días (kcal/kg)	67

Fuente: Ficha técnica del Cemento Antisaltre MS. Anexo II.

3.1.3. AGUA

El agua utilizada en la elaboración de la mezcla del concreto permeable, fue agua potable de la Universidad Nacional de Cajamarca, la cual cumple con la norma NTP 339.088 / ASTM D 1293.

3.1.4. ADITIVO CHEMAPLAST



Imagen N° 5. Aditivo Chemaplast Fuente: Aditivos Chema.

Es utilizado aditivo plastificante “Chemaplast” (Imagen N° 5), el cual provee trabajabilidad y una fácil colocación en las mezclas de concreto. Chemaplast es un aditivo plastificante de color marrón a base de agentes dispersantes de alta eficacia, exento de cloruros. Es un producto adecuado a las especificaciones ASTM C 494 de tipo A.

Hace posible diseñar mezclas de concreto de fácil colocación con un contenido de hasta 10% menor de agua, generando aumento en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto (Anexo III – Ficha técnica del aditivo Chemaplast).

3.1.5. FIBRA DE POLIPROPILENO

La fibra sintética a utilizar es “Chema Fibra Ultrafina” (Imagen N° 6), que es una fibra de polipropileno para refuerzo tridimensional en morteros y concretos, reductor de rajaduras.

Puede agregarse directamente al equipo en el cual se está realizando la mezcla del concreto, antes de iniciar el mezclado o durante el mismo. La fibra se mezcla perfectamente con el concreto luego de 5 minutos de agitación. Debido a la densidad ligeramente mayor que la del agua, la fibra no flota en la mezcla y se consigue una excelente incorporación a la misma.

En la tabla N° 9 se muestra los datos técnicos de Chema fibra Ultrafina.



Imagen N° 6. Chema Fibra Ultrafina.

Tabla N° 9. Datos técnicos de Chema Fibra Ultrafina.

DATOS TÉCNICOS DE CHEMA FIBRA ULTRAFINA	
Material:	Polipropileno Virgen 100%
Diseño:	Monofilamento.
Diámetro:	12 micrones +1/-3 micrones
Longitud	1.2 cm (1/2")
Color:	Natural
Peso Específico:	0.91 gr/cm ³
Humedad:	< 2%
Área de superficie específica:	370 m ² /kg (1.790 ft ² /lb)
Punto de fusión:	160°C (320°F)
Módulo de elasticidad:	5.5 GPA (800 ksi)
Tenacidad:	8.5 cN/dtex (765 MPa/110 KSI)
Resistencia a la tensión:	110 KSI (765 MPa)
Punto de Ignición:	590°C (1094°F)
Conductividad térmica y eléctrica:	Baja
Ruptura:	< 25%
Absorción de agua:	Cero
Resistencia Química y Alcalina:	Excelente

Fuente: Anexo IV - Ficha técnica de Chema Fibra Ultrafina.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la naturaleza y objetivos de la presente investigación, se ha optado por un estudio experimental y enfoque cuantitativo.

El diseño de mezcla óptimo de un concreto permeable requiere especificar propiedades, características, relación y comparación entre variables (causa - efecto), toma de datos para probar la hipótesis con base a una medición numérica para la dosificación última.

3.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación fue realizada en el Laboratorio de Ensayos de Materiales “Carlos Esparza Díaz”, en el edificio 1C de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicada en la Av. Atahualpa N°1050. Geográficamente ubicada entre los paralelos 7°10'02” de latitud sur y los meridianos 78°29'44” de longitud oeste, y con coordenadas UTM: E 776623.79, N 9207008.75.

3.2.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio es el conjunto de especímenes de concreto permeable.

3.2.3. MUESTRA

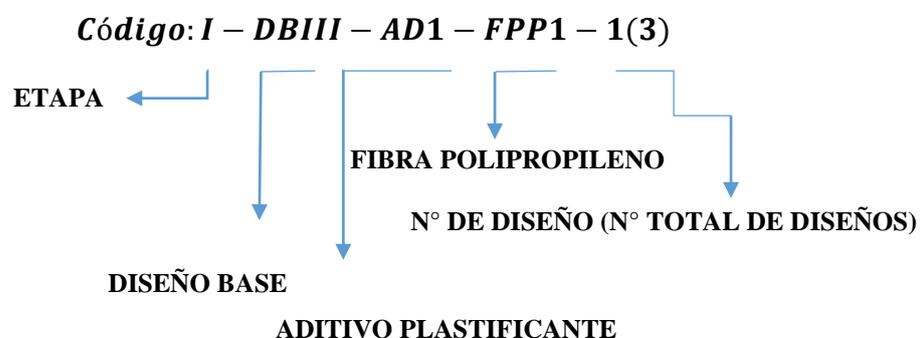
El estudio a un 100 % de manera intencional y por conveniencia contó con un total de 132 especímenes: 78 especímenes cilíndricos para los ensayos a compresión, 42 especímenes prismáticos para los ensayos a flexión y 12 especímenes cilíndricos para los ensayos de permeabilidad (Muestreo no probabilístico, Mc Millan & Schumacher, 2001).

3.2.4. UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis de esta investigación es denominada “especimen de concreto permeable”.

3.3. ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

Para definir las etapas de la investigación se hizo uso la siguiente codificación para designar a los especímenes elaborados:



Donde:

ETAPA: I, II y III

DISEÑO BASE: I, II, III y IV.

ADITIVO PLASTIFICANTE CHEMAPLAST: AD1, AD2 y AD3.

FIBRA DE POLIPROPILENO CHEMA ULTRAFINA: FPP1 y FPP2.

N° DE DISEÑO: 1(3), 2(3), 3(3); 1(30), 2(30) ... 30(30).

El presente trabajo de investigación, desarrollado de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas (NTP), Normas del Instituto del Concreto Americano (ACI), Normas ASTM, Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) y Portland Cement Pervious Concrete Paviments, se ejecuta en tres etapas, descritas a continuación:

3.3.1. ETAPA I

Determinadas las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, se obtienen los “diseños base”, sin uso de aditivo y con uso de aditivo plastificante “Chemaplast”.

Los diseños base sin uso de aditivo, son denominados: Diseño Base I, Diseño Base II, Diseño Base III y Diseño Base IV (Anexo V – Diseños de Mezclas).

Para el Diseño Base I, la compactación es por el método de apisonado en 3 capas de 25 golpes por capa.

Para el Diseño Base II, la compactación es por el método de apisonado en 3 capas de 15 golpes por capa.

Para el Diseño Base III, la compactación es por el método de apisonado en 3 capas de 08 golpes por capa.

Para el Diseño Base IV, la compactación es por el método de apisonado en 3 capas de 08 golpes por capa.

De los diseños iniciales sin aditivo, es seleccionado el diseño con mayor resistencia al esfuerzo de compresión y mayor contenido de poros el cual es corregido con el reajuste de diseño de mezcla, para luego incorporar el aditivo “Chemaplast” en tres proporciones diferentes (AD1=250, AD2=300 y AD3: 350 ml/bolsa de cemento) teniendo en cuenta la ficha técnica de dicho producto.

3.3.2. ETAPA II

De la Etapa I es tomado el diseño con mejor comportamiento ante el uso de aditivo; en la Etapa II, es adicionado a este diseño la fibra de polipropileno “Chema Fibra

Ultrafina” en dos proporciones diferentes (FPP1=300, FPP2=600 gr/m³), teniendo en cuenta la ficha técnica de dicho producto.

3.3.3. ETAPA III

Con el diseño óptimo resultado de la etapa II, se realizó la reproducción final de los especímenes de concreto permeable que son analizados estadísticamente en cuanto a su comportamiento mecánico de resistencia a compresión y flexión y también es obtenido su coeficiente de permeabilidad.

3.4. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO PERMEABLE

Se elaboraron especímenes cilíndricos para las pruebas a compresión (150 mm de diámetro por 300 mm de altura) y de permeabilidad (100mm de diámetro por 150mm de altura); para las pruebas de flexión se elaboran especímenes prismáticos (150 mm por 150 mm por 500 mm de longitud).

Se utilizaron moldes de metal no absorbentes, que no reaccionan con el cemento, del laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, para pruebas a compresión; para pruebas de flexión y de permeabilidad se elaboraron moldes utilizando madera y tubería de PVC respectivamente, con las medidas correspondientes.

Se utilizó una varilla lisa de acero, redondeada de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo ambos extremos de forma redondeada tipo semi-esférica, con 16 mm de diámetro para la compactación.

Fueron empleadas herramientas manuales como palas, baldes, espátulas, cucharones y reglas.

Se utilizó balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo, en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0.05 kg.

Se utilizó una mezcladora tipo trompo eléctrico de 6 pies cúbicos de capacidad.

Para la elaboración de los especímenes de concreto permeable se siguieron los siguientes pasos:

1. Se realizaron mezclas de volumen igual a 0.02 m³, para obtener 3 especímenes gemelos para pruebas de resistencia a la compresión y dos mezclas del mismo volumen para obtener 3 especímenes para las pruebas de resistencia a la flexión.

2. Se limpió y seco el interior de la mezcladora, para que así no haya aporte de agua o algún otro material a la mezcla que no haya sido previsto; así mismo se procedió a pesar las dosificaciones de cemento, agregado fino, agregado grueso, medir el volumen del agua, la cantidad de aditivo plastificante y pesar la cantidad de fibra de polipropileno, requeridos según corresponda.
3. No existe norma alguna que indique el procedimiento para cargar la mezcladora con los materiales, sin embargo numerosos antecedentes aconsejan que se debe agregar una porción del agua a la mezcladora, luego se añade el agregado fino y posteriormente el grueso, finalmente se agrega el cemento y el resto del agua; para el caso de los especímenes con aditivo plastificante, éste se adiciona a la mezcladora junto con el agua y en el caso de los especímenes con adiciones de fibra de polipropileno, se mezcló junto con los materiales antes de agregar el total de agua; se comenzó a mezclar los materiales, hasta obtener una mezcla de color uniforme de los agregados y el cemento, se continuó mezclando hasta que se presente homogeneidad, consistencia y color uniforme en la mezcla, presentándose el agregado grueso totalmente cubierto por la pasta. Así mismo, se controló que el tiempo de mezclado después de haber sido adicionado el volumen final de agua.

Para cada caso de las mezclas se midió el tiempo de mezclado lo cual estuvo alrededor de 4 minutos para las mezclas de diseños base iniciales, 4 a 5 para el caso de mezclas con aditivo y de 5 a 6 minutos para el caso de mezclas con aditivo plastificante y fibras de polipropileno.

Para el moldeado de los especímenes de concreto permeable se siguieron los siguientes pasos:

1. Se colocó los moldes en una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones y fueron cubiertos interiormente con una mínima cantidad de aceite mineral, para facilitar el desmolde de los especímenes.
2. La colocación de la mezcla de concreto en el interior del molde se realizó moviendo el cucharón alrededor del molde para asegurar la distribución del concreto, realizando un reacomodo con la varilla metálica.
3. El llenado del molde, se realizó en tres capas de igual volumen, en la última capa se agregó una cantidad de mezcla suficiente para que el molde quede lleno y uniforme después de la compactación.

4. La compactación se realizó por el método de apisonado. Se estableció el grado de compactación en el capítulo VII (Anexo V) según las consideraciones para cada diseño de mezcla de concreto permeable.
5. Se enrasó el exceso de mezcla con la varilla de compactación y se dio un acabado de tal manera que la superficie quede plana.
6. Se identificó los especímenes con el número de espécimen y tipo de dosificación.
7. Se colocó bolsas plásticas sobre los moldes para evitar la pérdida de humedad y tratar de mantener la temperatura.
8. Transcurridas 24 horas después de elaborar los especímenes, estos fueron sacados de los moldes y se procedió a realizar el curado estándar.



Imagen N° 7. Elaboración de especímenes cilíndricos de concreto permeable



Imagen N° 8. Elaboración de especímenes prismáticos de concreto permeable

Para el curado de los especímenes se siguieron los procedimientos indicados en la norma ASTM C 192 / NTP 339.183.:

1. Protección después del acabado: Inmediatamente después de elaborar el moldeado de los especímenes, se cubrieron estos con bolsas de plástico para evitar la evaporación y pérdida de humedad.
2. Curado inicial: Después del moldeado, se cubrió a los especímenes con plástico para mantener la temperatura alrededor de estos. Transcurridas 24 horas fueron desmoldados y se procedió a realizar el curado estándar.
3. Curado estándar: Al terminar el curado inicial y entre los 30 minutos y 1 hora después de haber sacado los especímenes de los moldes, éstos son almacenados en una posa de curado de concreto, cubiertos con agua, además el agua es saturada con cal viva para mantener la temperatura de está.



Imagen N° 9. Curado inicial del concreto permeable



Imagen N° 10. Curado estándar del concreto permeable

Los diseños de mezcla con los que se elaboran los especímenes de concreto permeable se encuentran en el capítulo VII (Anexo V); según el procedimiento de dosificación de mezcla indicado en el capítulo II (punto 2.3.5).

3.5. PROPIEDADES ESTUDIADAS DEL CONCRETO PERMEABLE

3.5.1. ASENTAMIENTO

El asentamiento (propiedad física del concreto permeable en estado fresco) en general es cero; sin embargo, se han usado valores en el rango de 20 a 50 mm. La prueba de asentamiento, se puede realizar de acuerdo con la ASTM C143, pero no es

una prueba que se considera para fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional, sólo se considera como un valor de referencia, debido principalmente a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de casos no es aplicable (Carlos Aire, 2011).

En la presente investigación, este ensayo se realizó bajo lo establecido en la norma NTP 339.035, en correspondencia a la ASTM C 143.



Imagen N° 11. Ensayo de asentamiento del concreto permeable.

3.5.2. PESO UNITARIO VOLUMÉTRICO

El peso unitario (propiedad física del concreto permeable en estado fresco) sirve para determinar la densidad y contenido de vacíos de concreto permeable recién mezclado y se determina de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C1688/C1688M cómo se indica en ACI 522.R-10.

3.5.3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión (propiedad mecánica del concreto permeable en estado endurecido), es la prueba más común del concreto convencional, que se encuentra relacionada con muchas de sus características como es el caso del módulo de elasticidad. La National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) y la Asociación de Pavimentos de Concreto (ACPA) tienen una política de que el ensayo de resistencia a la compresión es el método preferido de aceptación del concreto. Los comités del ACI 325 y 330 sobre la construcción y diseño de pavimentos de concreto,

y la Asociación del Cemento Portland (PCA) puntualizan la utilización de los ensayos de resistencia a compresión como los más convenientes y confiables.

Según el ACI 522.R-10, no se han estandarizado procedimientos de prueba de esfuerzo a compresión para especímenes de concreto permeable, pues reconoce que la aplicación y sus características son diferentes, un hecho importante es que su propiedad principal es la permeabilidad y es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión.

Sin embargo, al no existir otro método de prueba de resistencia a la compresión específico para concreto permeable, ésta se obtuvo bajo lo establecido en la norma NTP 339.034 y a ASTM C 39.

El equipo utilizado es la prensa hidráulica, deflectómetro y balanza.

El procedimiento es el siguiente:

1. Colocamos el espécimen en la prensa hidráulica y aplicamos la carga a velocidad constante, registrando las lecturas para las cargas dadas en el tablero de la máquina y para la deformación dada en el deflectómetro adherido a la prensa.
2. La resistencia a la compresión del espécimen, debe estar cercana a la que se esperaba alcanzar y se obtiene dividiendo la carga de rotura (Kg.) entre la sección transversal del espécimen (cm²).
3. La deformación unitaria se encuentra dividiendo la deformación total entre la altura del espécimen.
4. Después de aplicada la carga en intervalos de 2 Tn, a velocidad de 1.5 kg/cm²/seg (0.15 MPa/seg) que representa aproximadamente 16.60 Tn/min y terminar el ensayo se procede a registrar el tipo de falla de cada espécimen, para luego clasificarla según la Imagen N° 12, en donde se indica los tipos de falla según la norma NTP 339.034 y si falló el agregado o la pasta durante el proceso.

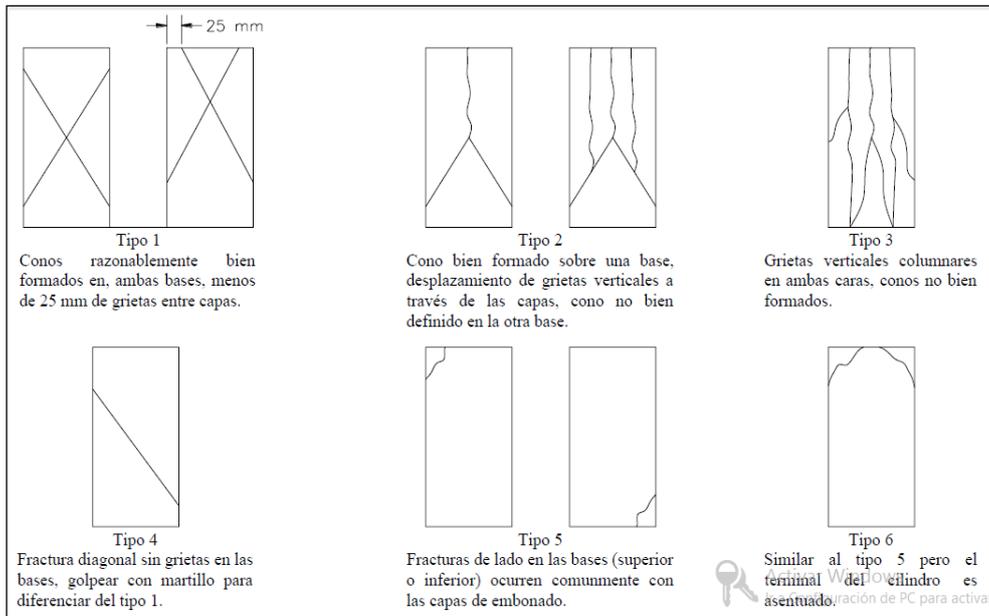


Imagen N° 12. Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura.

Fuente: NTP 339.034, 2008.



Imagen N° 13. Verificación del tipo de fractura en los especímenes de concreto permeable.

- **Módulo de Elasticidad**

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto (Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993).

La Norma ASTM C 469, describe el método de determinación del módulo de elasticidad secante de Young y la relación de Poisson en cilindros de concreto moldeados y núcleos de concretos taladrados cuando son sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal. Este método de ensayo, proporciona un valor de la relación esfuerzo a deformación y una relación de deformación lateral a la longitudinal para el concreto endurecido a cualquier edad y condiciones de curado que pueden ser establecidas.

La determinación del Esfuerzo - Deformación en los especímenes ensayados a compresión a la edad de 28 días, al no contar con un Compresómetro, se determinaron con un deformímetro ubicado en la base móvil de la máquina compresora, por lo que la deformación obtenida habría sido no solo del concreto, sino también de los dos discos de neopreno utilizados para el cabeceo del espécimen, por lo que de usarse estas deformaciones para determinar el módulo de Elasticidad con la curva esfuerzo - deformación se obtuvieron resultados dispersos para las diferentes especímenes. Así se optó por calcular el módulo de elasticidad con la fórmula teórica, que relaciona la resistencia a compresión del concreto con el módulo de elasticidad del mismo según el método ACI 318S.

$$E_c = w_c^{1.5} 4270 \sqrt{f'_c}$$

Ecuación 8. Módulo de elasticidad según el ACI 318 S

Dónde:

E_c = Módulo de elasticidad, kg/cm²

W_c = Densidad del concreto, Tn/m³

F'_c = Resistencia a la compresión del concreto, kg/cm²



Imagen N° 14. Medición de las deformaciones de los especímenes de concreto permeable.

- **Desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto permeable**

Se determina el desarrollo de resistencia que presenta el diseño de mezcla óptimo, expresando la resistencia a las edades de 7 y 14 días respecto a la resistencia a la edad de 28 días, en porcentaje.

3.5.4. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La resistencia a la flexión, expresado como el Módulo de Rotura (R), es utilizado para definir el comportamiento a la tracción del concreto y guarda similitud con el modo de sollicitación de los pavimentos (Boletín Técnico N° 66...1995).

Se puede efectuar sobre vigas cargadas en los tercios de la luz o al centro de la luz. En este caso es utilizado el método destructivo de vigas cargadas al centro de la luz según lo establecido en la norma ASTM C 293/ NTP339.079.

El equipo utilizado es la Maquina Universal de Ensayos que es capaz de mantener la velocidad de carga continua y uniforme, los aparatos de carga son capaces de mantener la distancia de apoyos con aproximación de 1.0 mm y las placas de carga y apoyo.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. El espécimen de ensayo se giró sobre su lado con respecto a su posición como fue moldeado y se centró sobre los bloques de soporte. Se centró luego el sistema de carga en relación a la carga aplicada. Se llevó el bloque de aplicación de carga a contacto con la superficie del espécimen al centro de la luz y se aplicó una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada.
2. Para determinar las dimensiones de la sección transversal del espécimen utilizado para calcular el módulo de ruptura, se tomó mediciones a través de una de las caras fracturadas, después de realizado el ensayo.
3. El ancho y el espesor se midieron con el espécimen como fue orientado para su ensayo. Para cada dimensión se tomó una medición efectuada en cada uno de los bordes y una al centro de la sección. Se usaron las tres mediciones por cada dirección para determinar el ancho promedio y el espesor promedio. Todas las mediciones se hicieron con una aproximación de 1 mm (0.05 pulg).

Se calculó el módulo de ruptura con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2}$$

Ecuación 9. Módulo de ruptura según ASTM C 293.

Donde:

R = Módulo de ruptura, MPa (lb/pulg²).

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayo, N (lbf).

L = Luz (longitud) entre soportes, mm (pulg).

b = Ancho promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg).

d = Espesor promedio del espécimen, en la fractura, mm (pulg).



Imagen N° 15. Ensayo a flexión de especímenes de concreto permeable.

3.5.5. PERMEABILIDAD

Es uno de los ensayos más importantes, porque permite conocer el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable que lo caracteriza como tal.

Para determinar la permeabilidad del concreto permeable, existen dos métodos. Uno se encuentra descrito en la Norma ASTM C 1701 “Método Estándar para Prueba de Infiltración en el Concreto Permeable” y la otra prueba es la recomendación que se encuentra en el reporte del ACI 522R-10.

Para nuestro caso, seguiremos la recomendación que se encuentra en el reporte del ACI 522R-10, en el cual se utiliza un permeámetro de carga variable, en donde se ensaya probetas de 100mm de diámetro por 150mm de altura.

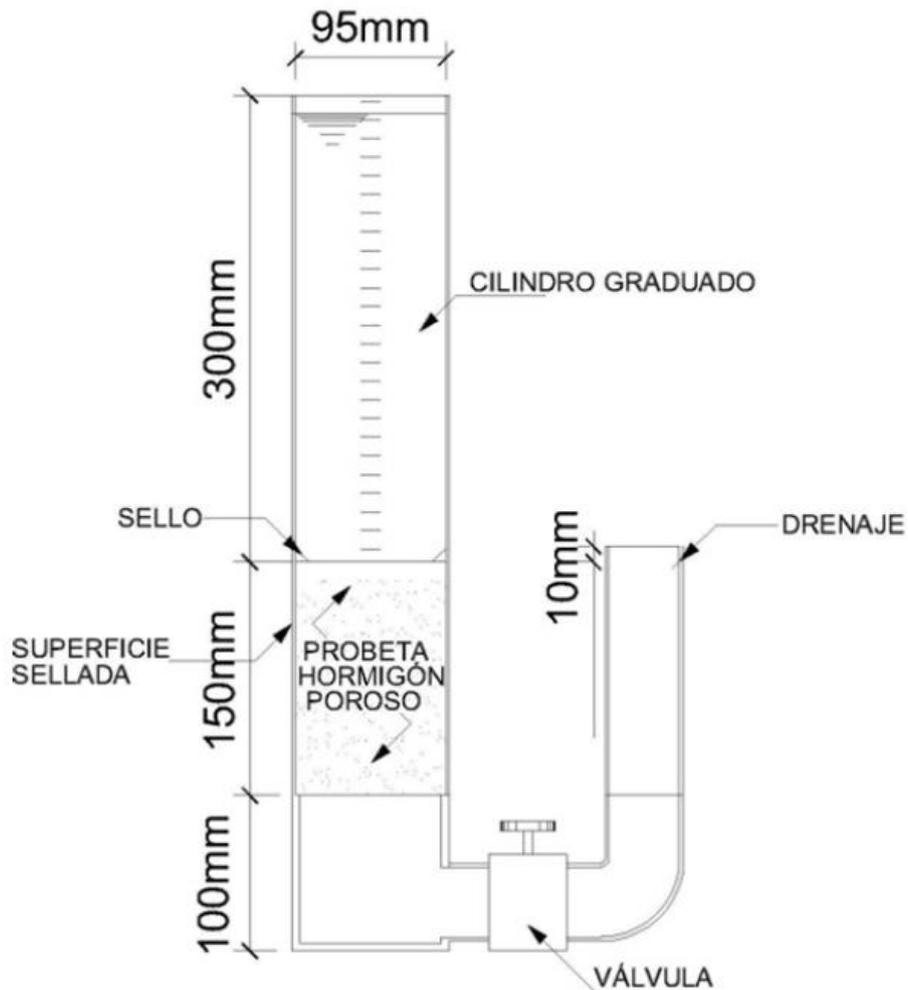


Imagen N° 16. Equipo de ensayo de permeabilidad recomendado por el ACI 522.R.

Fuente: Reporte ACI 522R-10.

En cuanto al cálculo del coeficiente permeabilidad, fue realizado utilizando la ley de Darcy.

$$k = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times Ln \frac{h_1}{h_2}$$

Ecuación 10. Coeficiente de permeabilidad según la ley de Darcy.

Dónde:

k: Coeficiente de permeabilidad.

L: Longitud de la muestra.

A: Área de la muestra.

a: Área de la tubería de carga

t: Tiempo en demora en pasar (h_1-h_2)

h_1 : Altura de agua medida del nivel de referencia (parte superior de la muestra)

h_2 : Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (1cm)

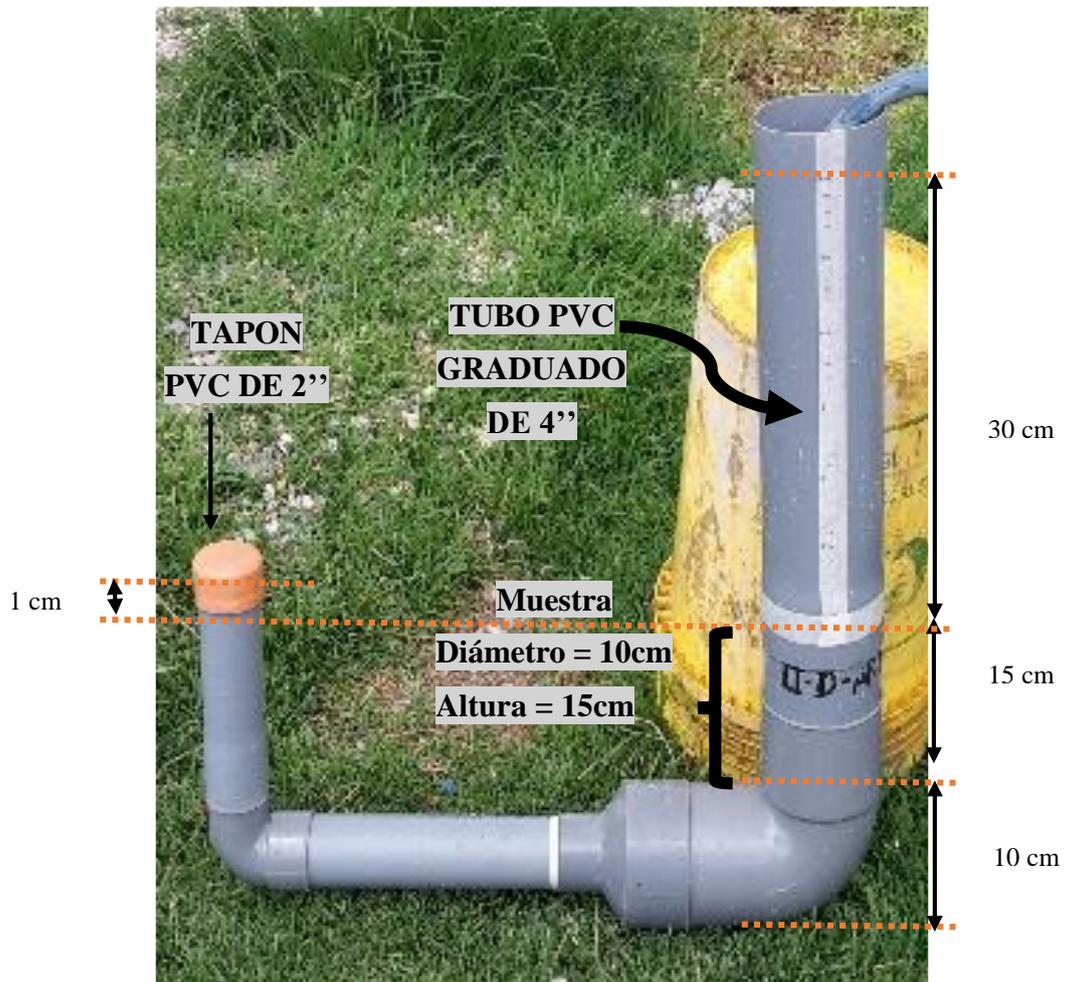


Imagen N° 17. Equipo elaborado para ensayo de permeabilidad.



Imagen N° 18. Ejecución de ensayo de permeabilidad.

3.6. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para recopilar la información se usaron los métodos cuantitativo y cualitativo (Hernández 2014).

El método cuantitativo, se usó para medir las variables cuantitativas del estudio de las) dosificaciones de concreto elaborados; para lo cual se emplearon equipos e instrumentos del laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca tales como: máquina de ensayo a compresión y tracción universal, moldes adecuados para la elaboración y control de calidad del concreto, balanzas, calibradores y tamices compatibles con las normas NTP y ASTM correspondientes.

El Método cualitativo, se usó para describir algunas propiedades o variables cualitativas de las dosificaciones de concreto elaborados, tales como: trabajabilidad del concreto, apariencia del concreto, tipo de fractura, modo de falla; para lo cual se empleó la observación directa en el laboratorio.

3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La información cuantitativa obtenida de las variables de estudio, de las diferentes dosificaciones de concreto, fue procesada mediante métodos estadísticos como la determinación de promedios y se emplearon programas computarizados (Microsoft Excel 2017) con los que se obtuvieron resultados como gráficas representativas.

3.7.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de los ensayos realizados están sujetos a variaciones, que indicarían la uniformidad del cuidado en su realización. Asimismo, con estas variaciones se puede analizar el comportamiento de una determinada dosificación de estudio mediante el análisis estadístico, aplicado a las siguientes variables de evaluación: (a) Resistencia a compresión de concreto permeable a la edad de 28 días, (b) Deformación del concreto permeable a la edad de 28 días y (c) Resistencia a flexión en especímenes prismáticos de concreto permeable a la edad de 28 días.

Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión, son analizados desde el punto de vista estadístico con la finalidad de garantizar la validez y la confiabilidad de los resultados obtenidos toda vez que la toma de datos se ha realizado en forma técnica y precisa, verificando la influencia de los diversos factores respecto a las propiedades mecánicas.

El análisis estadístico se realizó con el fin de garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos de compresión y flexión, de las pruebas del concreto permeable elaborados con el diseño de mezcla óptimo.

Permite anticipar un programa mínimo de ensayos, haciendo la investigación económica y haciendo que los resultados obtenidos puedan ser utilizados completamente haciéndola eficaz.

Se conocen varias medidas de dispersión, pero las más usuales son: la media aritmética, la desviación estándar, el coeficiente de variación y la curva de distribución normal. Para recordar, se aclara la definición de estas medidas.

a) Media Aritmética (X):

Se define como el cociente de la suma de valores obtenidos por el número de ellos, es decir:

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

Ecuación 11. Media aritmética.

Siendo:

x_1, x_2, \dots, x_n : los valores de la resistencia a la compresión de cada ensayo.

n: número de ensayos.

b) Desviación Estándar (σ):

Da una indicación de cuan cerca están agrupados alrededor del promedio los resultados de las pruebas individuales. Si la desviación estándar es grande, los resultados están muy esparcidos y la curva es más exagerada. Si la desviación estándar es pequeña, indica más uniformidad y la curva de distribución normal es más aguda.

Se define como la raíz cuadrada del promedio de la suma de los cuadrados de las desviaciones respecto a la resistencia promedio. Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$\sigma \approx \frac{\sqrt{[(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2]}}{(n-1)}$$

Ecuación 12. Desviación estándar.

En el concreto, el número de resultados es insuficiente. En este caso cuando es menor que 30, la desviación estándar se define como (n-1) en lugar de (n) en el denominador de la fórmula, pues representa un mejor valor de la desviación típica. Para $n > 30$ prácticamente se usan ambas definiciones.

La distribución de la resistencia, se describe mediante la desviación media y estándar. A partir del conocimiento de la probabilidad de que un espécimen tenga una resistencia que difiera de la media en una cantidad dada, podemos, definir la resistencia "mínima" de determinada mezcla.

c) Coeficiente de Variación (CV):

El coeficiente de variación, relaciona la desviación estándar con el valor promedio y se expresa en porcentaje:

$$CV(\%) \approx \frac{\sigma(100)}{\bar{X}}$$

Ecuación 13. Coeficiente de variación

El coeficiente de variación hace posible expresar el grado de dispersión en valor porcentual mejor que en un valor absoluto. Este también puede ser utilizado como un índice del grado de control y el estándar general de calidad del concreto (ACI 214).

La tabla N° 10, según ACI 214, muestra los coeficientes de variación que pueden esperarse en las obras controladas.

Tabla N° 10. Coeficientes de variación para resistencia a la compresión del concreto.

Clase de operación	Coeficientes de variación para diferentes controles			
	Excelente	Bueno	Regular	Pobre
Para diferentes mezclas				
Construcción general	Debajo de 10	De 10 a 15	De 15 a 20	Arriba de 20
Control de laboratorio	Debajo de 5	De 5 a 7	De 7 a 10	Arriba de 10
Para una misma mezcla				
Control de campo	Debajo de 4	De 4 a 5	De 5 a 6	Arriba de 6
Control de laboratorio	Debajo de 3	De 3 a 4	De 4 a 5	Arriba de 5

d) Histograma de Frecuencias:

La primera forma como deben analizarse o explorarse los datos es mediante un análisis gráfico que permita descubrir un patrón de comportamiento, tendencias, variaciones estacionales o simplemente las variaciones aleatorias. Igualmente, el análisis gráfico permite, mediante una simple ojeada, darnos una idea de la información y sus características básicas.

El objetivo es distribuir los datos en intervalos de clase, preferiblemente del mismo tamaño y verificar cuantas observaciones se presentan en cada intervalo (frecuencia absoluta). La información resultante, se puede usar para construir posteriormente un histograma de frecuencias y tratar de inferir cuál puede ser la distribución a la cual se ajustan los datos.

El procedimiento para encontrar la distribución de frecuencia es el siguiente:

1. Definir el número de intervalos de clase (M). Se recomienda que el número de intervalos de clase esté entre 5 y 20, dependiendo del tamaño de la muestra (N) disponible. Como una guía para escoger el número de intervalos puede usarse la fórmula de Sturges, dada por:

$$M = 1 + 3.32 \log_{10} N$$

Ecuación 14. Número de intervalos de clase

2. Encontrar el rango de variación de los datos (R). Para ello se requiere calcular los valores mínimo y máximo de la muestra.
3. Calcular el tamaño del intervalo de clase (C). Para ello se debe calcular la relación entre el rango de los datos y el número de intervalos. Se tomará como tamaño del intervalo a un valor ligeramente superior a esta relación.

- **Distribución Normal (Campana de Gauss):**

Hoy en día está demostrado que el comportamiento de la resistencia del concreto a compresión se ajusta a la Distribución Normal (Campana de Gauss), cuya expresión matemática es:

$$Y = \frac{1}{D_S \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{X - X_{PROM}}{D_S} \right)^2}$$

Ecuación 15. Distribución normal.

Donde:

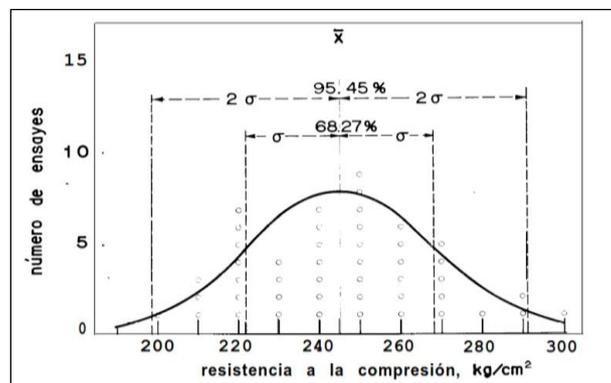
D_S = Desviación Estándar

X_{PROM} = Resistencia Promedio

X = Resistencia de ensayo

La gráfica N° 4 muestra la curva normal para diferentes valores de D_S , teniendo un mismo X_{PROM} entonces, podemos concluir que a medida que aumenta el D_S el grado de dispersión que existente en las resistencias de las probetas es mayor el cual tiende a alejarse del promedio.

Gráfica N° 4. Curva de distribución normal para diferentes valores de desviación estándar de resistencia a la compresión del concreto.



Fuente: Malhotra 1969.

Para la Resistencia a la flexión del concreto de hasta 5.5 MPa, la desviación estándar para proyectos con un buen rango de control está entre 0.3 a 0.6 MPa según la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA).

e) Pruebas de Bondad de Ajuste

Ahora examinaremos el problema de verificar si el conjunto de datos se puede ajustar o afirmar que proviene de una determinada distribución. Las pruebas estadísticas que tratan este problema reciben el nombre general de “Pruebas de Bondad de Ajuste”.

Existen dos pruebas básicas que pueden aplicarse: La prueba Chi - Cuadrado y la prueba de Smirnov - Kolmogorov. Ambas pruebas caen en la categoría de lo que en estadística se denominan pruebas de “Bondad de Ajuste” y miden, como el nombre lo indica, el grado de ajuste que existe entre la distribución obtenida a partir de la muestra y la distribución teórica que se supone debe seguir esa muestra. Ambas pruebas están basadas en la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre la distribución muestral y la teórica.

- **Prueba Smirnov-Kolmogorov**

En la prueba de Smirnov-Kolmogorov, se está interesado en la mayor desviación entre la función de distribución teórica y la empírica, es decir entre $F_0(x)$ y $S_n(x)$, para todo el rango de valores de x . Bajo la hipótesis nula se espera que estas desviaciones sean pequeñas y estén dentro de los límites de errores aleatorios. Por lo tanto, en la prueba S-K se calcula la mayor desviación existente entre $F_0(x)$ y $S_n(x)$, denotada por $D_{\max}(x)$ y está dada por:

$$D_{\max}x \approx \max|F_0(x) - S_n(x)|$$

Ecuación 16. Prueba de Smirnov – Kolmogorov.

Donde:

$F_0(x)$: Función acumulada teórica.

$S_n(x)$: Función acumulada empírica.

La distribución de $D_{\max}(x)$ es conocida y depende del número de observaciones n . Se acepta la hipótesis nula de que no existe diferencia significativa entre las distribuciones teóricas y empíricas si el valor de $D_{\max}(x)$ es menor o igual que el valor crítico $D_{\max}(\alpha, n)$.

- **Distribución T de Student**

La distribución t de Student, es una distribución de probabilidad, surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

Surge en estudios prácticos, cuando la desviación de una población se desconoce y debe ser estimada con datos de una muestra.

Supongamos que X_1, \dots, X_n son variables aleatorias independientes distribuidas normalmente, con media μ y varianza σ^2 .

Sea

$$\bar{X}_n = (X_1 + \dots + X_n)/n, \text{ la media muestral y}$$

$$S_n^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2, \text{ la varianza muestral.}$$

Entonces, está demostrado que:

$$Z = \frac{\bar{X}_n - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}, \text{ se distribuye según una normal e,}$$

Media 0 y varianza 1.

Gosset estudió una expresión relacionada,

$$T = \frac{\bar{X}_n - \mu}{S_n/\sqrt{n}}, \text{ y}$$

Mostró que T tiene la siguiente función de densidad:

$$f(t) = \frac{\Gamma((\nu+1)/2)}{\sqrt{\nu\pi} \Gamma(\nu/2)} (1 + t^2/\nu)^{-(\nu+1)/2}$$

Con ν igual a $n - 1$.

Es “ ν ” el número de grados de libertad. La distribución depende de ν , pero no de μ o σ ; la independencia de μ y σ es lo que hace a la distribución t importante en la teoría y práctica. Γ es la función gamma.

3.7.2. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

El concreto por ser un material heterogéneo, está sujeto a la variabilidad de sus componentes y también de su producción, transporte, colocación, compactación y curado; existiendo por ello resultados variables. El proceso de control de calidad de datos, es realizado en estricta aplicación de las normas técnicas y procedimientos específicos.

La tabla N° 11, muestra las principales fuentes de variación en la resistencia del concreto según ACI 214.

Tabla N° 11. Fuentes de variación en la resistencia del concreto.

FUENTES DE VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO	
Variaciones en sus propiedades:	Deficiencias en métodos de prueba:
<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambios en la relación a/c. <ol style="list-style-type: none"> a. Control deficiente. b. Variación de humedad en agregados. 2. Variación de agua mezcla. <ol style="list-style-type: none"> a. Gradación de agregados, absorción. b. Características del cemento, aditivos. c. Tiempo de suministro y temperatura. 3. Variación en las características y proporción de los insumos. <ol style="list-style-type: none"> a. Agregados b. Cemento 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Procedimientos de muestreo inadecuados. 2. Dispersión debido a la forma de preparación, manipuleo y curado de los cilindros de prueba. 3. Mala calidad de los cilindros de prueba. 4. Defectos de Curado: <ol style="list-style-type: none"> a. Variación de la temperatura b. Humedad variable. c. Demoras en el transporte. 5. Procedimientos de ensayo deficientes: <ol style="list-style-type: none"> a. El ensayo a Compresión. b. El ensayo a Flexión.

La evaluación de los materiales de Ingeniería está en base a:

- b) La utilización de pruebas normalizadas, que permitan cuantificar y calificar la propiedad del material.
- c) Contar con laboratorios para materiales y concretos, que nos brinden resultados confiables.

- d) Para evaluar y aceptar el concreto, se debe tener en cuenta la calidad de un concreto y las normas que establecen si ésta es satisfactoria:
- Ninguna resistencia de cada ensayo individual (o el valor medio de dos probetas cilíndricas), sea menor que la F'_c de diseño en más de 35 kg/cm².
 - La media de cualquier grupo de tres ensayos individuales es igual o superior a la F'_c de diseño.
 - La evaluación de resultados de especímenes usados para determinar el esfuerzo del concreto, se ejecuta siguiendo la recomendación ACI 214.

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

La tabla N° 12, muestra el proporcionamiento en peso, de los diseños de mezcla de concreto permeable, utilizados en las etapas I, II y III.

Tabla N° 12. Diseños de mezclas de concreto permeable, proporcionamiento en peso.

DISEÑOS DE MEZCLA - PROPORCIONAMIENTO EN PESO						
N°	Código de diseño	Cemento	Ag. Fino / Cemento	Ag. Grueso / Cemento	Agua Lt/bls	a/c
		kg				
ETAPA I						
1.1.	I - DBI	313.00	0.733	4.619	12.78	0.30
1.2.	I - DBII	391.25	0.089	3.695	13.83	
1.3.	I - DBIII	391.25	0.089	3.695	13.83	
1.4.	I - DBIV	406.90	0.086	3.553	13.79	
1.5.	I - RDBIII	403.71	0.410	3.234	12.99	
1.6.	I - RDBIII-AD1	403.71	0.410	3.234	12.74	
1.7.	I - RDBIII-AD2	403.71	0.410	3.234	12.69	
1.8.	I - RDBIII-AD3	403.71	0.410	3.234	12.64	
ETAPA II						
2.1.	II - RDBIII-AD1-FPP1	403.71	0.410	3.234	12.74	0.30
2.2.	II - RDBIII-AD1-FPP2	403.71	0.410	3.234	12.74	
ETAPA III						
3.1	III - RDBIII -AD1 - FPP1	403.71	0.410	3.234	12.74	0.30

La tabla N° 13, muestra la dosificación de materiales, de los diseños de mezcla de concreto permeable por metro cúbico, utilizadas en las etapas I, II y III.

La tabla N° 14, muestra el resumen de propiedades ingenieriles, obtenidas en las etapas I, II y III.

Tabla N° 13. Diseños de mezclas de concreto permeable por metro cúbico.

DISEÑOS DE MEZCLA - PROPORCIONAMIENTO POR METRO CÚBICO												
N°	Código de Diseño	Tamaño Máx.Nom. de agregado	Cemento Tipo MS		Ag. Fino	Ag. Grueso	Agua	Vacíos	Relación	Aditivo		Fibra
			Kg/m ³	Bolsas/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Lt/m ³	%	a/c	ml/bolsa	Lt/m ³	gr/m ³
ETAPA I												
1.1.	I – DBI	3/4" (N° 67)	313.00	7.36	229.50	1445.61	94.09	15	0.30		-	-
1.2.	I – DBII	3/4" (N° 67)	391.25	9.21	34.92	1445.61	127.30	17	0.30		-	-
1.3.	I – DBIII	3/4" (N° 67)	391.25	9.21	34.92	1445.61	127.30	17	0.30		-	-
1.4.	I – DBIV	3/4" (N° 67)	406.90	9.57	34.92	1445.61	132.00	16	0.30		-	-
1.5.	I – RDBIII	3/4" (N° 67)	403.71	9.50	165.42	1305.71	123.38	16	0.30		-	-
1.6.	I - RDBIII-AD1	3/4" (N° 67)	403.71	9.50	165.42	1305.71	121.00	16	0.30	250.00	2.37	-
1.7.	I - RDBIII-AD2	3/4" (N° 67)	403.71	9.50	165.42	1305.71	120.53	16	0.30	300.00	2.85	-
1.8.	I - RDBIII-AD3	3/4" (N° 67)	403.71	9.50	165.42	1305.71	120.05	16	0.30	350.00	3.32	-
ETAPA II												
2.1.	II - RDBIII-AD1-FPP1	3/4" (N° 67)	403.71	9.50	165.42	1305.71	121.00	16	0.30	250.00	2.37	300
2.2.	II - RDBIII-AD1-FPP2	3/4" (N° 67)	403.71	9.50	165.42	1305.71	121.00	16	0.30	250.00	2.37	600
ETAPA III												
3.1	III - RDBIII -AD1 - FPP1	3/4" (N° 67)	403.71	9.50	165.42	1305.71	121.00	16	0.30	250.00	2.37	300

Tabla N° 14. Resumen de propiedades ingenieriles. Etapa I – II y III.

RESUMEN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERMEABLES DEL CONCRETO										
N°	Código de Diseño	Cantidad de ensayos	Peso Unitario promedio	Porosidad promedio	Esf. a compresión (kg/cm ²)			Esf. a flexión (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad (R)	Coeficiente de permeabilidad (K)
		Unidades	kg/m ³	%	7 días	14 días	28 días	28 días	kg/cm ²	cm/seg
ETAPA I										
1.1.	I – DBI	3	1990.47	16.29	107.91	-	-	-	124565.08	-
1.2.	I – DBII	3	1971.57	17.21	133.47	-	-	-	136566.33	-
1.3.	I – DBIII	3	1953.93	17.89	127.71	-	-	-	131795.78	-
1.4.	I – DBIV	3	1970.69	17.17	140.37	-	-	-	139955.11	-
1.5.	I – RDBIII	3	1972.94	17.72	137.48	-	-	-	138743.39	-
1.6.	I - RDBIII-AD1	3	1976.08	17.47	167.42	-	-	-	153473.61	-
1.7.	I - RDBIII-AD2	3	1986.41	17.33	168.04	-	-	-	154968.91	-
1.8.	I - RDBIII-AD3	3	1978.42	17.32	168.22	-	-	-	154113.88	-
ETAPA II										
2.1.	II - RDBIII-AD1-FPP1	3	1972.72	17.43	178.21	-	-	-	157940.31	-
2.2.	II - RDBIII-AD1-FPP2	3	1982.99	17.29	178.25	-	-	-	159190.70	-
2.3.	II - RDBIII -AD1 - FPP1	6	1963.82	17.31	162.15	-	-	-	149635.32	-
2.4.	II - RDBIII -AD1 - FPP1	6	1961.90	17.28	-	209.23	-	-	169727.35	-
2.5.	II - RDBIII -AD1 - FPP1	6	1970.53	17.42	-	-	223.81	-	176700.02	-
2.6.	II - RDBIII -AD1	12	-	-	-	-	-	38.34	-	-
ETAPA III										
3.1.	III - RDBIII -AD1 - FPP1	30	1959.62	-	-	-	227.78	-	176811.07	-
3.2.	III - RDBIII -AD1 - FPP1	30	-	-	-	-	-	44.21	-	-
3.3.	III - RDBIII -AD1 - FPP1	12	-	-	-	-	-	-	-	0.27

4.1.1. ETAPA I

4.1.1.1. Diseños sin aditivo plastificante

Las tablas N° 15, 16, 17 y 18, muestran las resistencias a la compresión a los 7 días, de los especímenes de concreto permeable de diseños sin aditivo plastificante, de códigos DBI, DBII, DBIII y DBIV.

Tabla N° 15. Resistencia a la compresión del diseño DBI.

Resistencia a la compresión del diseño I-DBI-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	102.21
2(3)	112.13
3(3)	109.40
F'c Promedio	107.91

Tabla N° 16. Resistencia a compresión del diseño DBII.

Resistencia a la compresión del diseño I-DBII-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	130.32
2(3)	137.37
3(3)	132.73
F'c Promedio	133.47

Tabla N° 17. Resistencia a compresión del diseño DBIII.

Resistencia a la compresión del diseño I-DBIII-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	129.68
2(3)	123.64
3(3)	129.81
F'c Promedio	127.71

Tabla N° 18. Resistencia a compresión del diseño DBIV.

Resistencia a la compresión del diseño I-DBIV-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	142.40
2(3)	136.49
3(3)	142.22
F'c Promedio	140.37

La tabla N° 19, muestra las resistencias a la compresión a los 7 días, del reajuste de mezcla del diseño base III de código RDBIII.

Tabla N° 19. Resistencia a compresión del diseño RDBIII.

Resistencia a compresión del diseño I-RDBIII-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	137.16
2(3)	141.28
3(3)	133.99
F'c Promedio	137.48

La tabla N° 20, muestra el porcentaje de vacíos de los diseños sin aditivo plastificante.

Tabla N° 20. Porcentaje de vacíos – Diseños sin aditivo plastificante.

CÓDIGO DE DISEÑO	I - DBI - (3)	I - DBII - (3)	I - DBIII - (3)	I - DBIV - (3)	I - RDBIII - (3)
VACIOS (%):	16.29	17.21	17.89	17.17	17.72

El asentamiento del concreto permeable de los diseños sin aditivo plastificante es 0 pulgadas.

4.1.1.2. Diseños con aditivo plastificante

Las tablas N° 21, 22 y 23, muestran las resistencias a la compresión a los 7 días, del reajuste del diseño base III más el uso de aditivo plastificante Chemaplast de códigos RDBIII-AD1, RDBIII-AD2 y RDBIII-AD3.

Tabla N° 21. Resistencia a compresión del diseño RDBIII-AD1.

Resistencia a la compresión del diseño I-RDBIII-AD1-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	166.32
2(3)	173.37
3(3)	162.57
Promedio	167.42

Tabla N° 22. Resistencia a compresión del diseño RDBIII-AD2.

Resistencia a la compresión del diseño I-RDBIII-AD2-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	177.37
2(3)	153.50
3(3)	173.27
Promedio	168.04

Tabla N° 23. Resistencia a compresión del diseño RDBIII-AD3.

Resistencia a la compresión del diseño I-RDBIII-AD3-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	169.84
2(3)	164.99
3(3)	169.82
Promedio	168.22

La tabla N° 24, muestra el porcentaje de vacíos de los diseños con aditivo plastificante.

Tabla N° 24. Porcentaje de vacíos – Diseños iniciales con aditivo plastificante.

CÓDIGO DE DISEÑO	I - RDBIII - AD1 - (3)	I-RDBIII - AD2 - (3)	I-RDBIII - AD3 - (3)
VACIOS (%):	17.47	17.33	17.32

4.1.2. ETAPA II

4.1.2.1. Diseños con adición de fibra de polipropileno

Las tablas 25 y 26 muestran las resistencias a la compresión a los 7 días, de los especímenes de diseño base III, más aditivo dosificación 1, más fibra de polipropileno Chema Ultrafina de códigos RDBIII-AD1-FPP1 y RDBIII-AD1-FPP2.

Tabla N° 25. Resistencia a compresión del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

Resistencia a la compresión del diseño II-RDBIII-AD1-FPP1-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	166.87
2(3)	185.84
3(3)	181.93
Promedio	178.21

Tabla N° 26. Resistencia a compresión del diseño RDBIII-AD1-FPP2.

Resistencia a la compresión del diseño II-RDBIII-AD1-FPP2-(3)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(3)	180.44
2(3)	181.07
3(3)	173.22
Promedio	178.25

La tabla N° 27, muestra el porcentaje de vacíos de los diseños con adición de fibra de polipropileno.

Tabla N° 27. Porcentaje de vacíos – Diseños con fibra de polipropileno.

CÓDIGO DE DISEÑO	II-RDBIII - AD1-FPP1 - (3)	II-RDBIII - AD1-FPP2 - (3)
VACIOS (%):	17.43	17.29

El asentamiento del concreto permeable de los diseños con aditivo plastificante es 0 pulgadas.

4.1.2.2. Resistencia a la compresión con respecto al tiempo

Las tablas N° 28, 29 y 30, muestran las resistencias a la compresión de 18 especímenes de concreto permeable, ensayados en grupos de 6 unidades a los 7, 14 y 28 días del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

Tabla N° 28. Resistencia a la compresión a los 7 días del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

Resistencia a la compresión del diseño II-RDBIII-AD1-FPP1-(18)	
N° DE DISEÑO	F'c - 7 días kg/cm2
1(18)	160.19
2(18)	166.97
3(18)	155.82
4(18)	164.65
5(18)	166.19
6(18)	159.07
Promedio	162.15

Tabla N° 29. Resistencia a la compresión a los 14 días del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

Resistencia a la compresión del diseño II-RDBIII-AD1-FPP1-(18)	
N° DE DISEÑO	F'c - 14 días kg/cm2
7(18)	209.69
8(18)	211.36
9(18)	199.38
10(18)	221.13
11(18)	209.97
12(18)	203.84
Promedio	209.23

Tabla N° 30. Resistencia a la compresión a los 28 días del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

Resistencia a la compresión del diseño II-RDBIII-AD1-FPP1-(18)	
N° DE DISEÑO	F'c - 28 días kg/cm2
13(18)	223.37
14(18)	226.89
15(18)	216.11
16(18)	229.51
17(18)	228.40
18(18)	218.57
Promedio	223.81

La tabla N° 31, muestra el porcentaje de vacíos del diseño DBIII - AD1 - FPP1.

Tabla N° 31. Porcentaje de vacíos del diseño RDBIII - AD1 - FPP1.

CÓDIGO DE DISEÑO	II-RDBIII - AD1- FPP1 - 6(18)	II-RDBIII - AD1- FPP1 - 6(18)	II-RDBIII - AD1- FPP1 - 6(18)
VACIOS (%):	17.31	17.28	17.42

El asentamiento del concreto permeable de los diseños con aditivo plastificante y fibra de polipropileno es 0 pulgadas.

4.1.2.3. Resistencia a la flexión del concreto permeable - Diseño sin fibra de polipropileno

La tabla N° 32, muestra la resistencia a la flexión del diseño RDBIII-AD1.

Tabla N° 32. Resistencia a la flexión del diseño RDBIII-AD1.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (R). CÓDIGO: II - RDB III- AD1 - (12)							
N°	P	P	b	D	Longitud de	L	(R)
de diseño	Carga Última (Tn)	Carga Última (kg)	Ancho prom. (cm)	Altura prom. (cm)	especimen (cm)	Long. entre soportes (cm)	28 días (kg/cm²)
1(12)	2.10	2100	15.28	15.26	50	45.00	39.84
2(12)	2.11	2110	15.34	15.29	50	45.00	39.71
3(12)	1.84	1840	15.15	15.18	50	45.00	35.58
4(12)	2.00	2000	15.23	15.31	50	45.00	37.82
5(12)	2.06	2060	15.32	15.27	50	45.00	38.93
6(12)	2.01	2010	15.38	15.34	50	45.00	37.49
7(12)	1.78	1780	15.28	15.35	50	45.00	33.37
8(12)	1.80	1800	15.42	15.31	50	45.00	33.62
9(12)	2.30	2300	15.39	15.38	50	45.00	42.65
10(12)	1.92	1920	15.40	15.29	50	45.00	36.00
11(12)	2.25	2250	15.37	15.21	50	45.00	42.71
12(12)	2.21	2210	15.22	15.20	50	45.00	42.42
Promedio	2.03	2031.67	15.32	15.28	50	45.00	38.34

4.1.3. ETAPA III

4.1.3.1. Resistencia a la compresión del concreto permeable

La tabla N° 33, muestra la resistencia a la compresión del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

Tabla N° 33. Resistencia a la compresión del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (F'c)			
CODIGO: III - RDB III - AD1 - FPP1 - (30)			
Código de Diseño	Carga última (kg)	Diámetro (cm)	F'c - 28 días (kg/cm2)
01(30)	38900	15.25	213.08
02(30)	40600	15.15	225.22
03(30)	40000	15.28	218.14
04(30)	40200	15.20	221.54
05(30)	43100	15.12	240.04
06(30)	41300	15.18	228.20
07(30)	41500	15.24	227.51
08(30)	41000	15.18	226.54
09(30)	42900	15.18	237.04
10(30)	41400	15.21	227.85
11(30)	41700	15.22	229.20
12(18)	40900	15.18	225.99
13(30)	42400	15.23	232.74
14(30)	39600	15.22	217.65
15(30)	41500	15.20	228.70
16(30)	41400	15.14	229.96
17(30)	40600	15.15	225.22
18(30)	41500	15.14	230.52
19(30)	42800	15.17	236.80
20(30)	41300	15.13	229.71
21(30)	41800	15.20	230.35
22(30)	40500	15.23	222.31
23(30)	42700	15.20	235.31
24(30)	42100	15.21	231.70
25(30)	41800	15.13	232.49
26(30)	41500	15.19	229.00
27(30)	40300	15.22	221.50
28(30)	42500	15.14	236.07
29(30)	40500	15.25	221.74
30(30)	40000	15.17	221.31
Promedio	41277	15.19	227.78

4.1.3.2. Resistencia a la flexión del concreto permeable - Diseño con fibra de polipropileno

La tabla N° 34, muestra la resistencia a la flexión del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

Tabla N° 34. Resistencia a flexión del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

RESISTENCIA A FLEXIÓN (R). CODIGO: III - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)							
N°	P	P	b	D	Longitud de	L	(R)
DE DISEÑO	Carga Ultima (Tn)	Carga Ultima (kg)	Ancho prom. (cm)	Altura prom. (cm)	especimen (cm)	Long. entre soportes (cm)	28 días (kg/cm²)
1(30)	2.18	2180	15.32	15.34	50	45.00	40.82
2(30)	2.29	2290	15.34	15.22	50	45.00	43.50
3(30)	2.43	2430	15.42	15.15	50	45.00	46.34
4(30)	2.30	2300	15.38	15.28	50	45.00	43.23
5(30)	2.31	2310	15.39	15.30	50	45.00	43.28
6(30)	2.53	2530	15.44	15.26	50	45.00	47.50
7(30)	2.23	2230	15.43	15.25	50	45.00	41.95
8(30)	2.46	2460	15.29	15.38	50	45.00	45.91
9(30)	2.25	2250	15.31	15.17	50	45.00	43.11
10(30)	2.27	2270	15.41	15.26	50	45.00	42.70
11(30)	2.30	2300	15.31	15.26	50	45.00	43.55
12(30)	2.36	2360	15.36	15.20	50	45.00	44.89
13(30)	2.36	2360	15.39	15.33	50	45.00	44.04
14(30)	2.37	2370	15.31	15.28	50	45.00	44.75
15(30)	2.28	2280	15.26	15.23	50	45.00	43.48
16(30)	2.34	2340	15.30	15.30	50	45.00	44.10
17(30)	2.34	2340	15.38	15.26	50	45.00	44.10
18(30)	2.32	2320	15.28	15.24	50	45.00	44.13
19(30)	2.40	2400	15.39	15.40	50	45.00	44.38
20(30)	2.30	2300	15.19	15.23	50	45.00	44.06
21(30)	2.36	2360	15.33	15.22	50	45.00	44.86
22(30)	2.40	2400	15.46	15.15	50	45.00	45.65
23(30)	2.40	2400	15.38	15.39	50	45.00	44.47
24(30)	2.42	2420	15.38	15.40	50	45.00	44.78
25(30)	2.43	2430	15.38	15.39	50	45.00	45.03
26(30)	2.40	2400	15.37	15.34	50	45.00	44.79
27(30)	2.43	2430	15.40	15.41	50	45.00	44.85
28(30)	2.31	2310	15.23	15.29	50	45.00	43.79
29(30)	2.32	2320	15.33	15.31	50	45.00	43.58
30(30)	2.36	2360	15.27	15.29	50	45.00	44.62
Promedio:	2.35	2348.33	15.35	15.28	50.00	45.00	44.21

4.1.3.3. Permeabilidad

La tabla N° 35, muestra el coeficiente de permeabilidad del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

Tabla N° 35. Coeficiente de permeabilidad del diseño RDBIII – AD1 - FPP1.

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)								
N° de muestra	L (cm)	A (cm ²)	a (cm ²)	h1 (cm)	h2 (cm)	t (seg)	Ln (h1/h2)	k (cm/seg)
1	15	81.07	81.07	30	25	13	0.1823	0.21
2	15	81.07	81.07	30	25	12	0.1823	0.23
3	15	81.07	81.07	30	25	12	0.1823	0.23
4	15	81.07	81.07	30	25	10	0.1823	0.27
5	15	81.07	81.07	30	25	9	0.1823	0.30
6	15	81.07	81.07	30	25	9	0.1823	0.30
7	15	81.07	81.07	30	25	10	0.1823	0.27
8	15	81.07	81.07	30	25	11	0.1823	0.25
9	15	81.07	81.07	30	25	10	0.1823	0.27
10	15	81.07	81.07	30	25	8	0.1823	0.34
11	15	81.07	81.07	30	25	9	0.1823	0.30
12	15	81.07	81.07	30	25	9	0.1823	0.30
Promedio:								0.27

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1. ETAPA I

4.2.1.1. Diseños sin aditivo plastificante

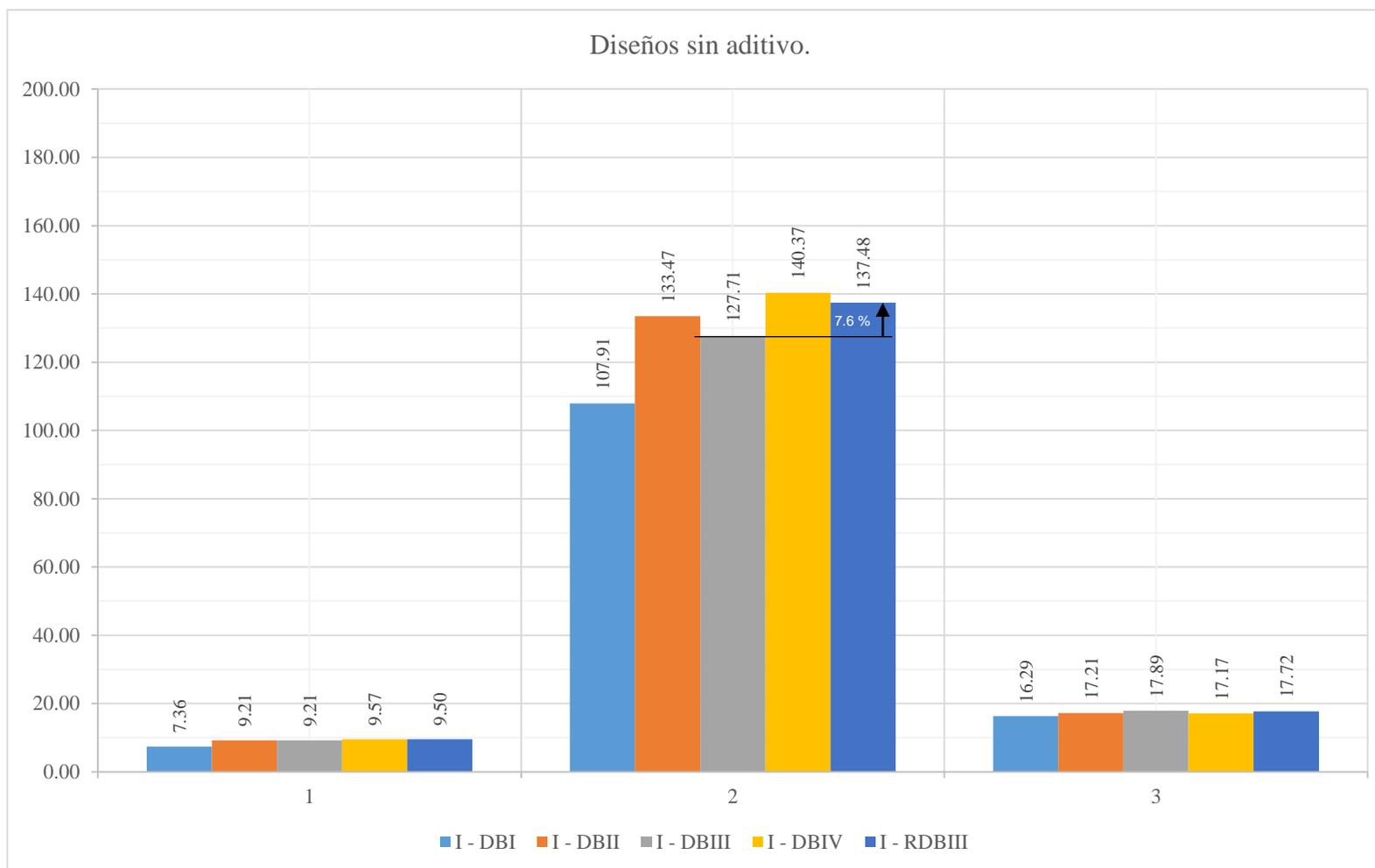
En la gráfica N° 5, se presentan los diseños sin uso de aditivo plastificante, se observa la resistencia a la compresión y su contenido de vacíos alcanzados.

- El diseño de código DBI, compactado 3 capas, 25 golpes/capa, 7.36 bolsas de cemento por metro cúbico, resulta con porcentaje de vacíos 16.29% y con resistencia a la compresión a los 7 días de 107.91 kg/cm².
- El diseño de código DBII, compactado 3 capas, 15 golpes/capa, 9.21 bolsas de cemento por metro cúbico, resulta con porcentaje de vacíos 17.21% y con resistencia a la compresión a los 7 días de 133.47 kg/cm².
- El diseño de código DBIII, compactado 3 capas, 08 golpes/capa, 9.21 bolsas de cemento por metro cúbico, resulta con porcentaje de vacíos 17.89 % y con resistencia a la compresión a los 7 días de 127.71 kg/cm².
- El diseño de código DBIV, compactado 3 capas, 08 golpes/capa, 9.50 bolsas de cemento por metro cúbico, resulta con porcentaje de vacíos 17.17% y con resistencia a la compresión a los 7 días de 140.37 kg/cm².

El diseño de código DBIII se corrigió con el reajuste de mezcla, debido a que presenta mayor contenido de vacíos que los demás diseños, con una resistencia a la compresión a los 7 días de 127.71 kg/cm².

- Con el reajuste del diseño base III de código RDBIII, es corregida el agua añadida, produciendo un ligero aumento en el contenido de cemento de 9.21 a 9.50 bolsas de cemento por metro cúbico para mantener la relación agua/cemento de 0.30. Se corrige también el contenido de agregado grueso reduciéndolo en un 10 % la mejorar su trabajabilidad de la mezcla, dando como resultado una resistencia a compresión de 137.48 kg/cm² con un contenido de vacíos de 17.72%.

Gráfica N° 5. Resistencia a la compresión de diseños sin aditivo plastificante. Etapa I



Teniendo en cuenta que aumenta la resistencia a la compresión con el diseño de código RDBIII en 7.6% respecto al DBIII y el contenido de vacíos es de 17.72 %, se procede a incorporar el aditivo plastificante a dicho diseño.

4.2.1.2. Diseños con aditivo plastificante

En la gráfica N° 6, se presentan los diseños con uso de aditivo plastificante, los cuales son analizados según la cantidad de aditivo utilizado, las resistencias a compresión y el contenido de poros respecto al diseño sin aditivo.

Con el uso de 250 ml de aditivo plastificante Chemaplast por bolsa de cemento, la resistencia a la compresión aumenta 21.78% y la mezcla adquiere mejor trabajabilidad respecto al diseño carente de aditivo, presentando 17.47% en contenido de poros. Con el uso de 300 y 350 ml de aditivo por bolsa de cemento se obtuvo un incremento de 22.23% y 22.36% en la resistencia a la compresión, y una porosidad de 17.33% y 17.32% respectivamente.

- Por tanto, el uso de 250 ml de aditivo es el contenido óptimo ya que mejora la resistencia a la compresión y tiene el contenido de poros mayor.

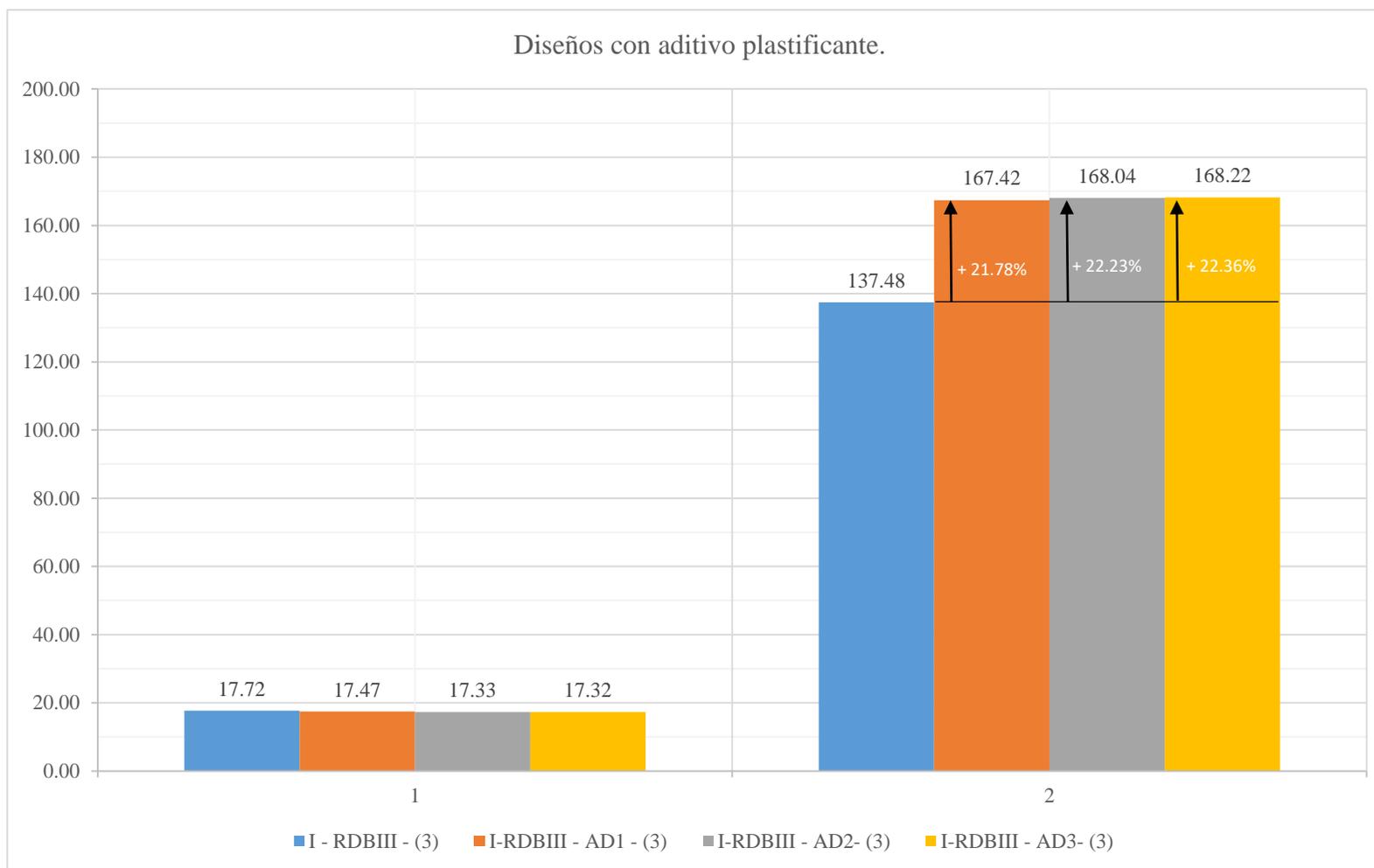
4.2.2. ETAPA II

4.2.2.1. Diseños con adición de fibra de polipropileno

En la gráfica N° 7, se presentan los diseños con fibra de polipropileno. Con el uso de 300 gr de Chema Fibra Ultrafina por metro cúbico de concreto, la resistencia a la compresión incrementó 6.45 % y la mezcla conserva trabajabilidad respecto al diseño que solamente contiene aditivo en la proporción óptima de 250 ml por bolsa de cemento. Con el uso de 600 gr de Chema Fibra Ultrafina por metro cúbico de concreto, la resistencia a la compresión incrementó 6.47 % y la mezcla mantiene su trabajabilidad respecto al diseño que solamente contiene aditivo. El uso conjunto de aditivo y fibra aumentan la resistencia a la compresión 29.63%.

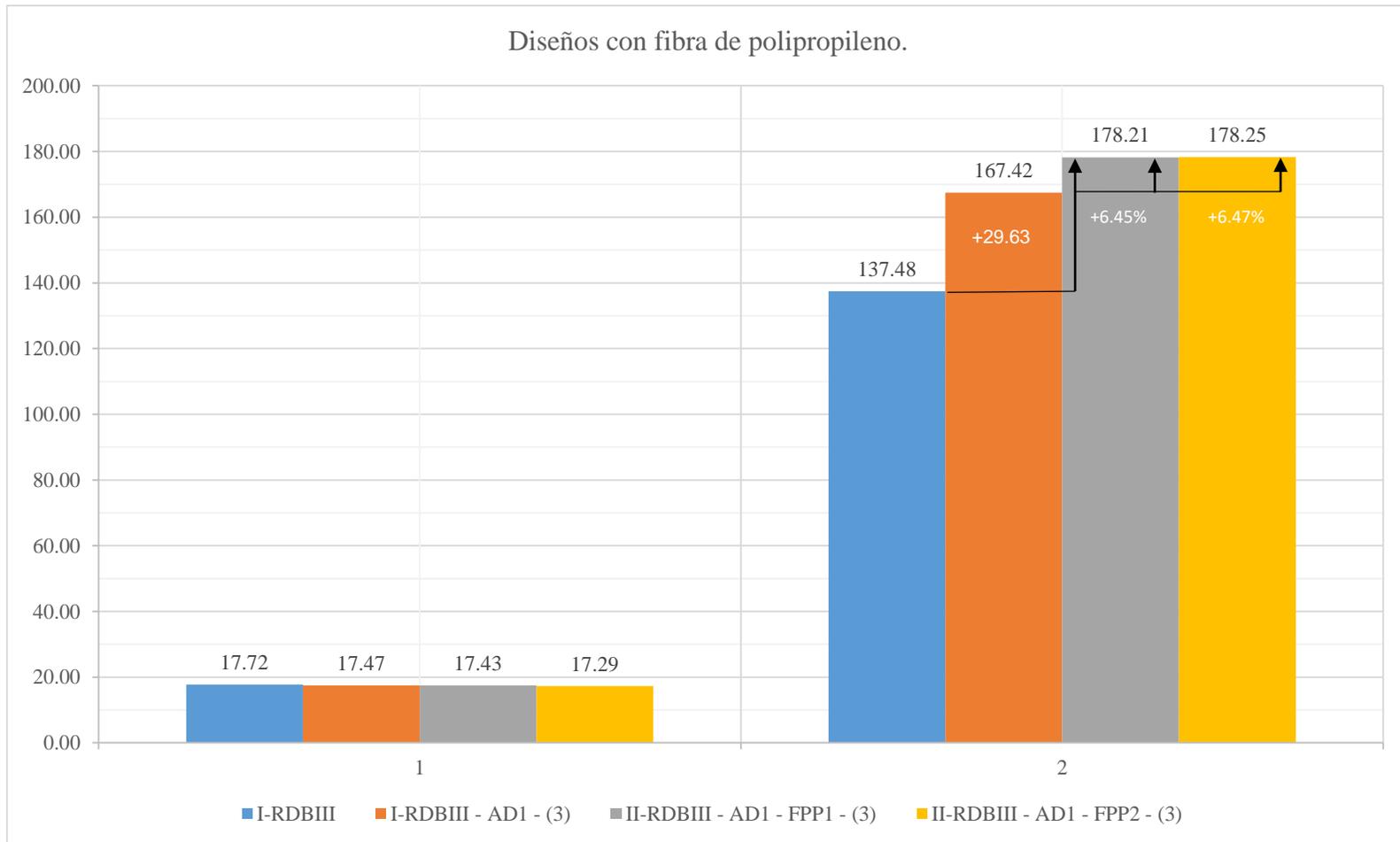
- Por tanto, el uso de 300 gr de fibra es el contenido óptimo ya que mejora la resistencia a la compresión, mantiene la trabajabilidad de la mezcla y presenta un contenido de poros mayor.

Gráfica N° 6. Resistencia a la compresión de diseños con aditivo plastificante. Etapa I



Por tanto, el diseño de código RDBIII-AD1 contiene la cantidad óptima de 250 ml de aditivo plastificante Chemaplast por bolsa de cemento.

Gráfica N° 7. Resistencia a la compresión de diseños con fibra de polipropileno. Etapa II



El diseño de código RDBIII-AD1-FPP1, en el cual se usa aditivo plastificante “Chemaplast” en 250 ml/bolsa de cemento y de 300 gr de “Chema Fibra Ultrafina”, es trabajable y resiste 178.21 kg/cm² a la compresión a los 7 días por lo cual es seleccionado como diseño óptimo.

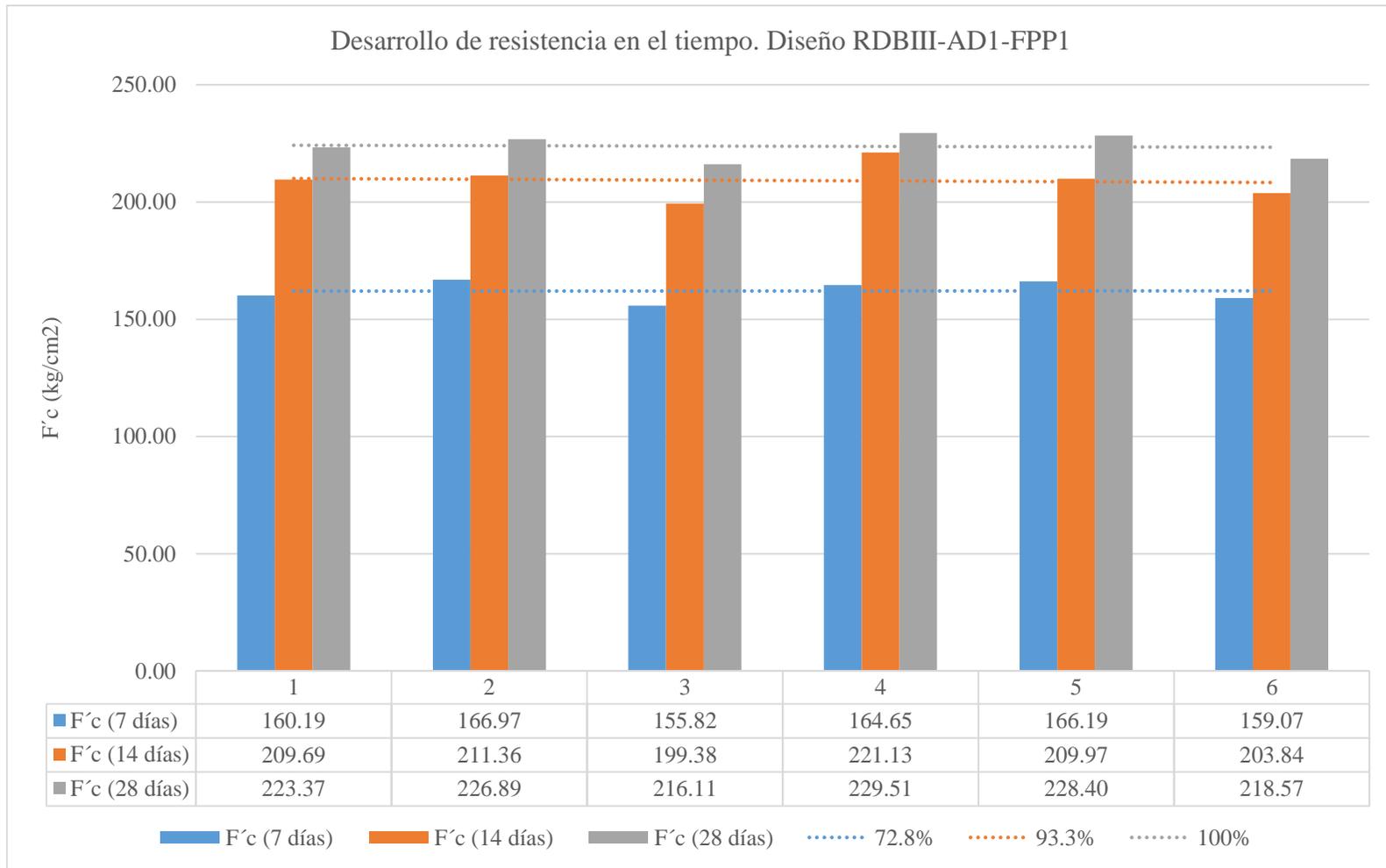
4.2.2.2. Resistencia a la compresión con respecto al tiempo

En la gráfica N° 8, se muestra el desarrollo del esfuerzo de compresión como una función de tiempo, para el promedio de 6 especímenes a las edades de 7, 14 y 28 días del diseño RDBIII-AD1-FPP1, donde la tendencia es el aumento en el esfuerzo como una función del tiempo.

- El incremento de esfuerzo más alto es en los primeros siete días de 72.8% y a los 14 días 93.3%.

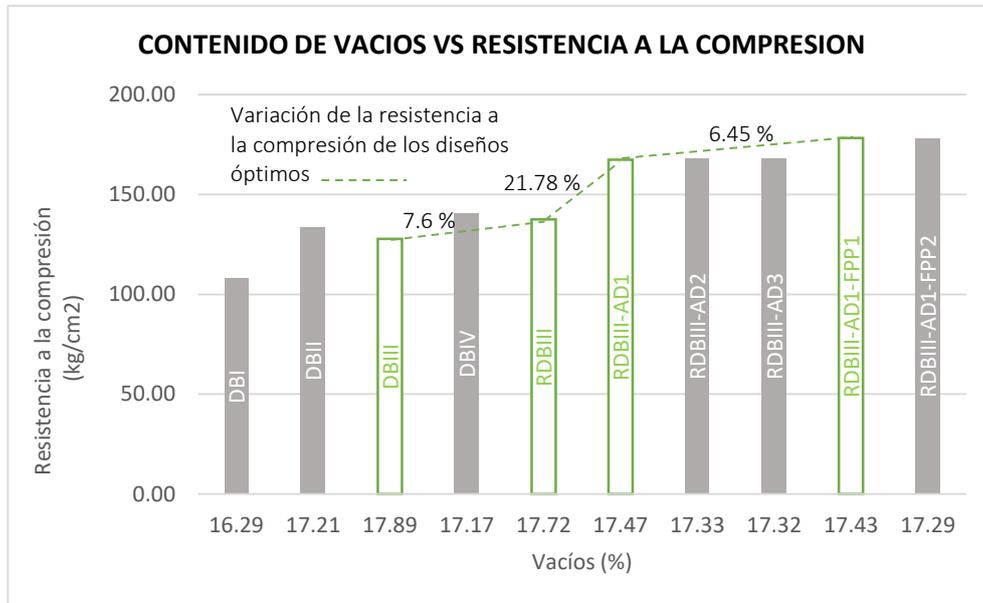
En dichos ensayos se comprobó también los resultados favorables en cuanto a la resistencia a la compresión del diseño de código RDBIII-AD1-FPP1, cuya resistencia a la compresión a los 28 días es 223.81 kg/cm².

Gráfica N° 8. Desarrollo de la resistencia a la compresión. Código: RDBIII-AD1-FPP1.



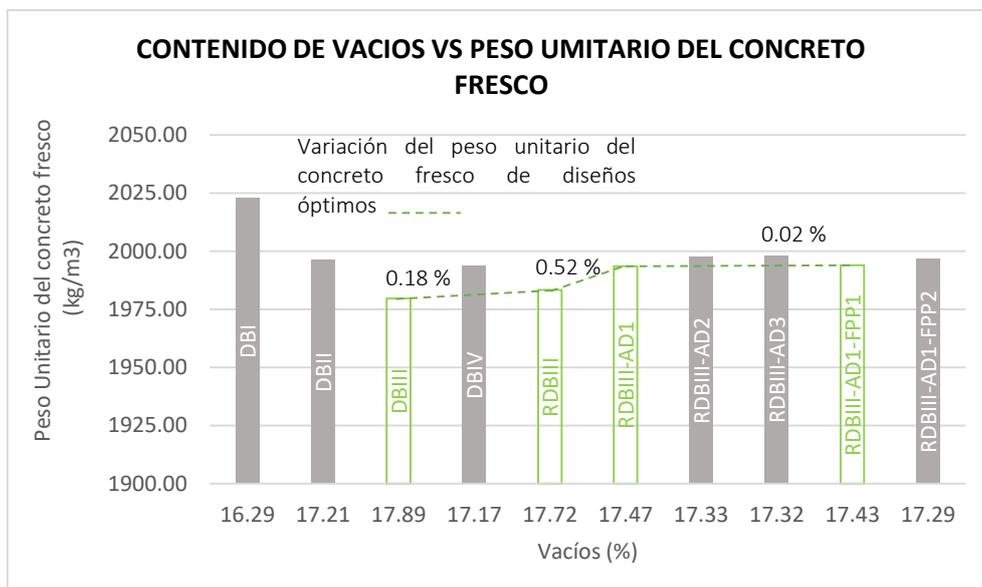
- La gráfica N° 9, muestra el contenido de vacíos versus la resistencia a la compresión de los diseños base y se muestran de color verde los diseños seleccionados óptimos con sus porcentajes de variación en resistencia a la compresión de cada uno de ellos y sus respectivos contenidos de vacíos.

Gráfica N° 9. Contenido de vacíos vs Resistencia a la compresión.



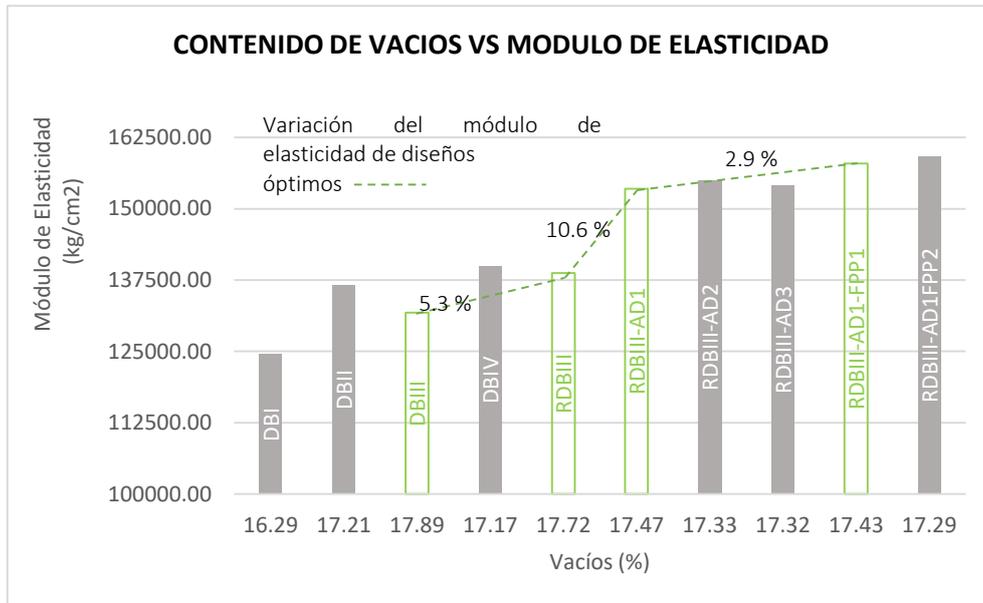
- La gráfica N° 10, muestra el contenido de vacíos versus el peso unitario del concreto fresco, se muestran de color verde los diseños seleccionados con los porcentajes de variación en peso unitario de cada uno de ellos y sus respectivos contenidos de vacíos.

Gráfica N° 10. Contenido de vacíos vs Peso Unitario



- La gráfica N° 11, muestra el contenido de vacíos versus el módulo de elasticidad del concreto de los diseños base, se muestran de color verde los diseños seleccionados, con los porcentajes de variación del módulo de elasticidad de cada uno de ellos y sus respectivos contenidos de vacíos.

Gráfica N° 11. Contenido de vacíos vs Módulo de elasticidad



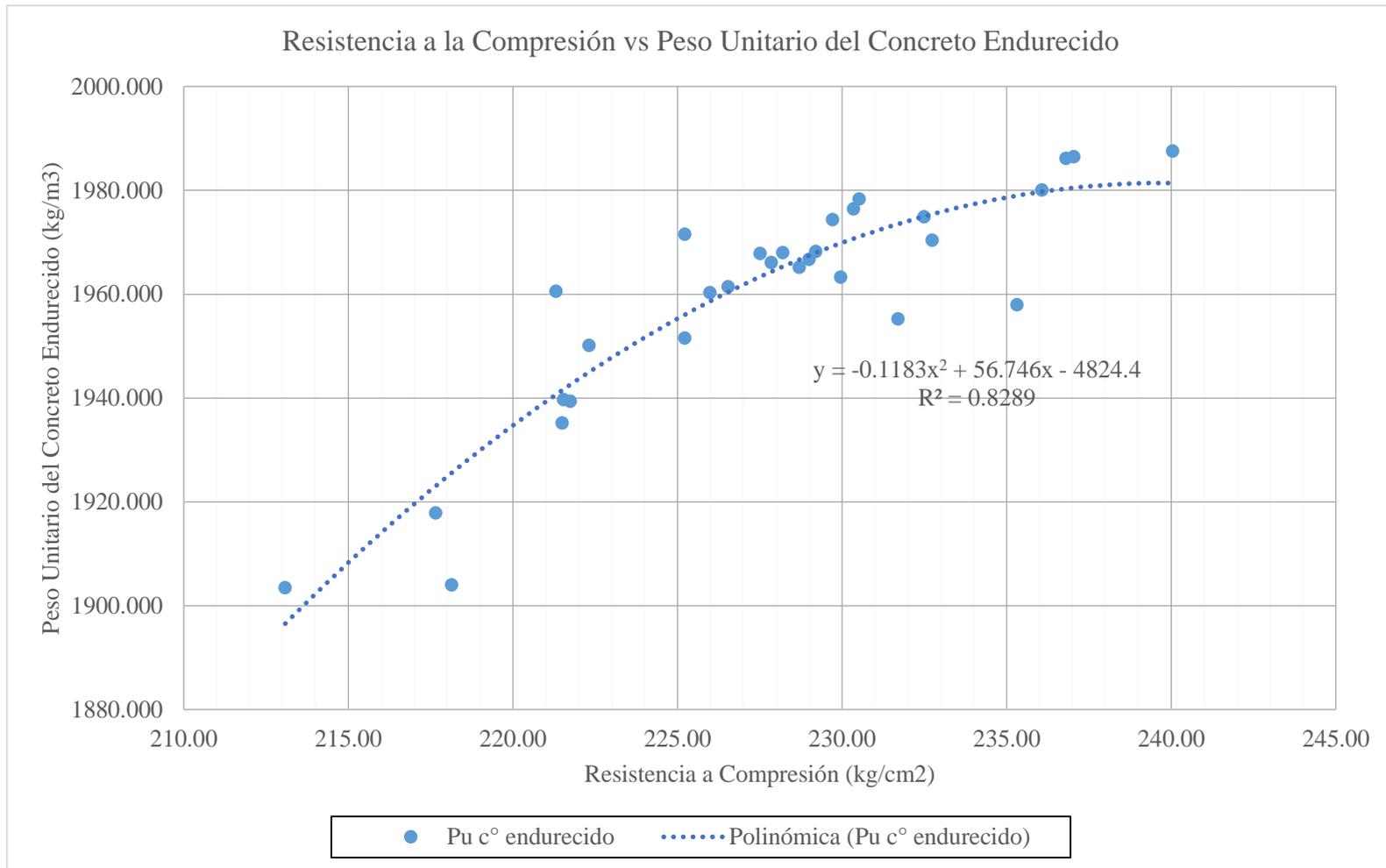
4.2.3. ETAPA III

4.2.3.1. Resistencia a la compresión del concreto permeable

Se obtiene para el diseño de código RDBIII-AD1-FPP1, a los 28 días lo siguiente:

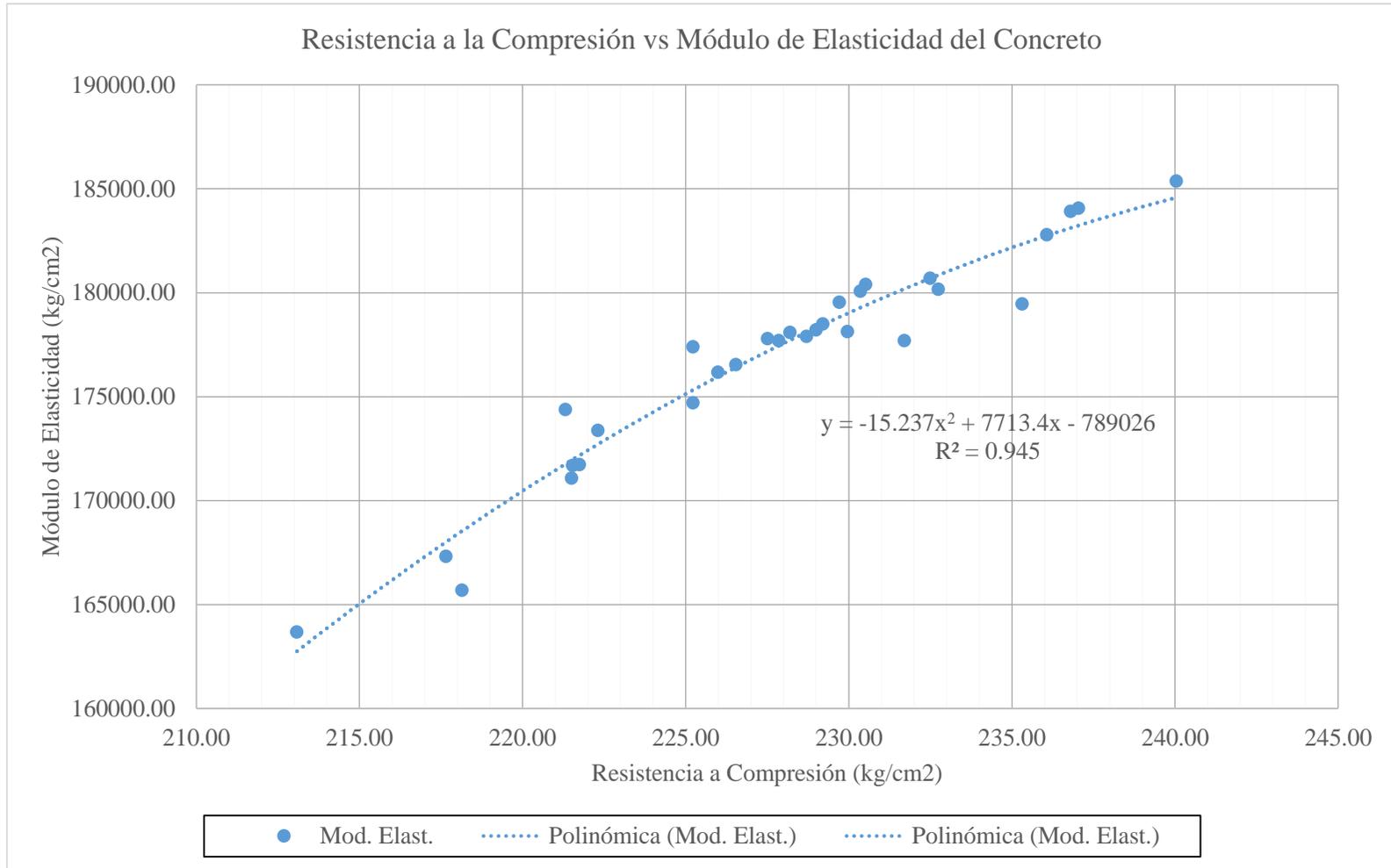
- La resistencia a compresión es de 22.35 MPa (227.78 kg/cm²), con desviación estándar de 6.29 kg/cm² y coeficiente de variación 2.76 %.
- El peso unitario es 192.24 MPa (1959.62 kg/m³) y el módulo de elasticidad 17345.07 MPa (176 811.07 kg/cm²).
- La gráfica N°12, muestra la resistencia a la compresión versus el peso unitario, del concreto permeable.
- La gráfica N°13, muestra la resistencia a la compresión versus el módulo de elasticidad, del concreto permeable.
- En el Anexo VI, se presentan las tablas de esfuerzo a compresión y deformación unitaria de rotura, al igual que sus gráficas correspondientes.
- En el Anexo VII, se presenta el análisis estadístico de ensayo de resistencia a la compresión, que incluye tablas de frecuencias e histogramas, así mismo, prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov ajuste a la distribución normal e intervalo del 95% de confianza para la media con la distribución T de Student y finalmente, las gráficas de control de calidad del proceso productivo de los especímenes ensayados.

Gráfica N° 12. Resistencia a la compresión vs Peso unitario del concreto permeable.



Fuente: Tabla N° 87. Datos de laboratorio del diseño. Código III-RDBIII-AD1-FPP1-(30).

Gráfica N° 13. Resistencia a la compresión vs Módulo de elasticidad del concreto permeable.



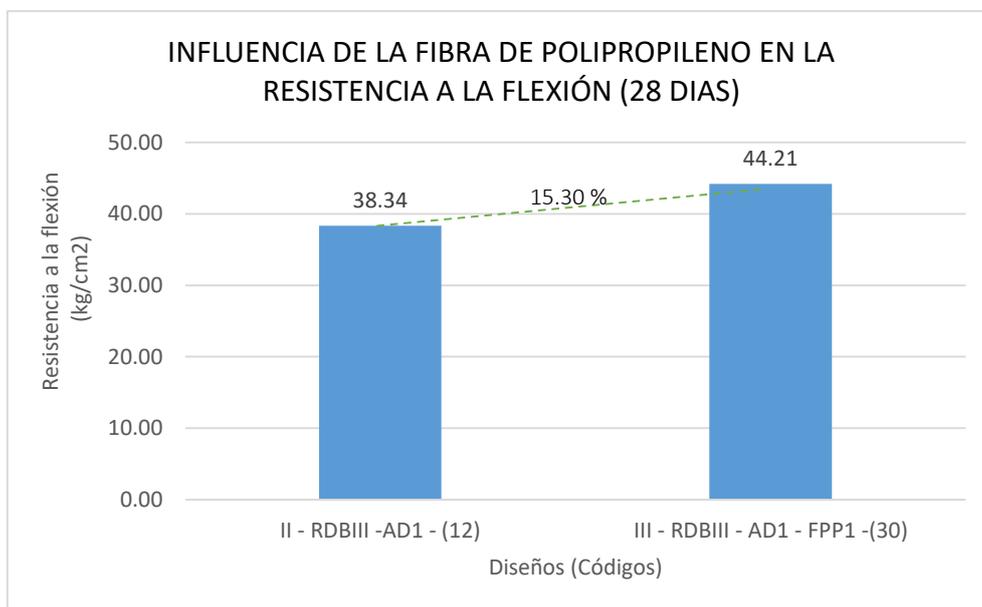
Fuente: Tabla N° 87. Datos de laboratorio del diseño. Código III-RDBIII-AD1-FPP1-(30).

4.2.3.2. Resistencia a la flexión del concreto permeable

Se obtiene para el diseño de código RDBIII-AD1-FPP1, a los 28 días lo siguiente:

- La resistencia a flexión es de 4.34 MPa (44.21 kg/cm²), con desviación estándar de 1.39 kg/cm² y coeficiente de variación 3.14%.
- En la gráfica N° 14, se muestra el incremento de la resistencia a la flexión del diseño sin fibra de polipropileno de código RDBIII-AD1, respecto al que contiene la adición de código RDBIII-AD1-FPP1 que es de 15.30%.

Gráfica N° 14. Influencia de uso de fibra de polipropileno en la resistencia a la flexión.

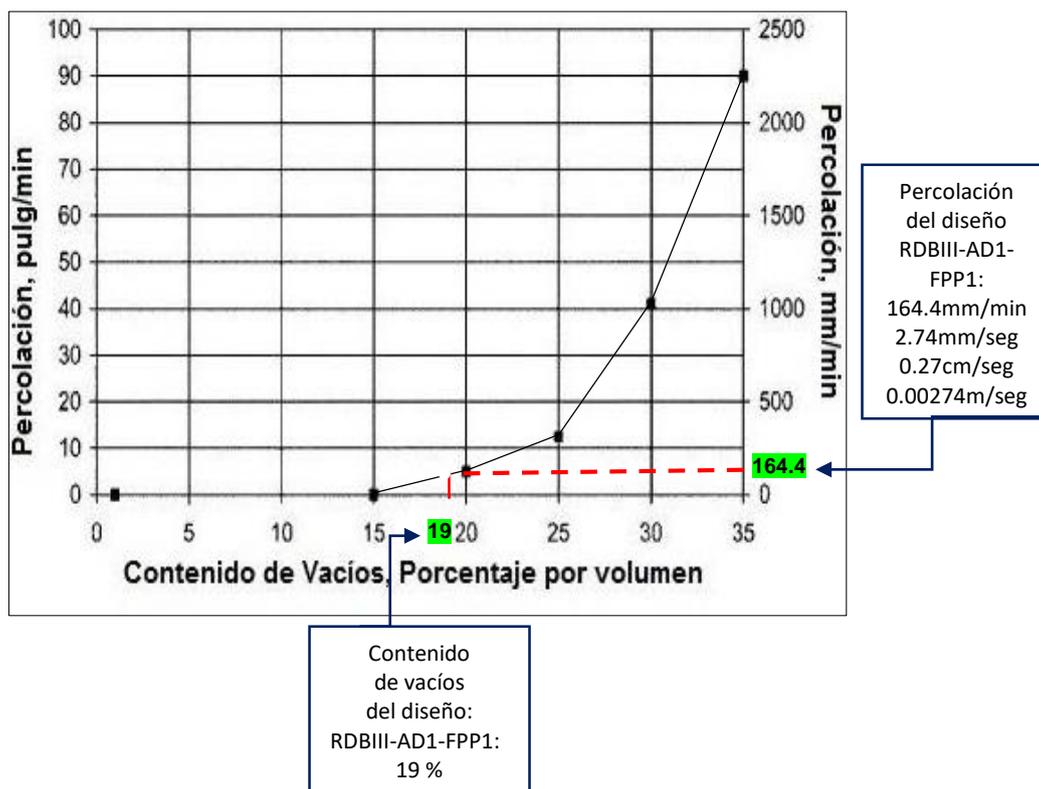


4.2.3.3. Permeabilidad

Se obtuvo para el diseño de código RDBIII-AD1-FPP1, a los 28 días lo siguiente:

- Coeficiente de permeabilidad de 0.27 cm/seg.
- Haciendo uso de la gráfica N° 1 “Contenido de vacíos versus percolación del concreto permeable” del ACI 211.3R-02, se presenta la gráfica N° 15, la cual muestra la permeabilidad de 0.27 cm/segundo del diseño de código RDBIII-AD1-FPP1, valor que según ACI 211.3R-02 debe estar entre 0.20 y 0.54 cm/seg para considerar a un concreto como permeable, cumpliendo con estar dentro de dicho parámetro, pero en el límite inferior. En la gráfica N° 15 también se aproximó el contenido de vacíos: 19%, correspondiente a una percolación de: 0.27 cm/seg (164.04 mm/min); como vemos este porcentaje de vacíos es mayor al que se calculó por el método de volúmenes absolutos ((ASTM C 1688)) que fue: 17.36%.

Gráfica N° 15. Coeficiente de permeabilidad.



4.3. CONTRASTE DE HIPÓTESIS

Tanto los objetivos como la hipótesis se constituyen en metas últimas en la solución del problema planteado; con la diferencia que los primeros son generalizaciones más amplias, en cambio la hipótesis es una generalización más concreta; las generalizaciones expresadas en la hipótesis están indicadas en:

- Haciendo uso de la dosificación de Cemento Antisalitre MS, Agregado Fino, Agregado Grueso (Tamaño máx. \varnothing 3/4") de la cantera Tartar y Agua, en la proporción 1:0.41: 3.23 / 12.74 lt/bls, con el uso de aditivo plastificante Chemaplast de 250 ml/bls (2.37lt/m³) y la adición de fibra de polipropileno de 300 gr/m³, se ha logrado un diseño de mezcla de concreto permeable de resistencias a la compresión oscilante entre 213.08 a 240.04 Kg/cm² y de resistencia a la flexión entre 40.82 a 47.50 Kg/cm², con porcentaje de vacíos promedio de 17.36% y coeficiente de permeabilidad 0.27 cm/seg.
- Con el uso de 300 gr de Chema Fibra Ultrafina por metro cúbico de concreto, la resistencia a la compresión incrementó 6.45 % y la mezcla conserva trabajabilidad respecto al diseño que solamente contiene aditivo en la proporción óptima de 250 ml por bolsa de cemento.
- Con el uso de 300 gr de Chema Fibra Ultrafina por metro cúbico de concreto, la resistencia a la flexión incrementó 15.30%, respecto al diseño que solamente contiene aditivo en la proporción óptima de 250 ml por bolsa de cemento.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El agregado fino y grueso de la cantera “Tartar” utilizados, cumplieron con propiedades físicas y mecánicas estipuladas en la norma ASTM C33/C33M 16e1.
- Se diseñó una mezcla de concreto permeable de código RDBIII-AD1-FPP1, cuya resistencia a la compresión a los 28 días es de 22.35 MPa (227.78 kg/cm²) con una desviación estándar de 6.29 kg/cm² y un coeficiente de variación de 2.76% y cuya resistencia a la flexión es de 4.34 MPa (44.21 kg/cm²) con una desviación estándar de 1.39 kg/cm² y un coeficiente de variación de 3.14%, por tanto, se concluyó que dicho diseño cumplió con las resistencias mecánicas mínimas de 210 kg/cm² en resistencia a compresión y de 42 kg/cm² en resistencia a la flexión, establecidas para ser usado en pavimentos de tránsito normal en la ciudad de Cajamarca.
- El desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto permeable obtenida es de 72.8 % a los 7 días y de 93.3% a los 14 días. Por consiguiente, se concluye que existe una diferencia mínima respecto a la de un concreto normal.
- El peso unitario del diseño de código RDBIII-AD1-FPP1, se encuentra dentro de los parámetros esperados, que definen a un concreto permeable según las normas vigentes del ACI 211.3R - 02 y ACI 522R-10, obteniéndose como resultado 192.24 MPa (1959.62 kg/m³) menor a 2000 kg/m³.
- El módulo de elasticidad del diseño de código RDBIII-AD1-FPP1 es 17345.17 MPa (176 811.07 kg/cm², 2 514 844.54917 Psi).
- La permeabilidad promedio de 12 especímenes obtenidos de la misma mezcla es de 0.27 cm/seg, encontrándose también dentro de los parámetros establecidos por el ACI 211.3R-02 (0.20 y 0.54 cm/seg). Por tanto, según dichas características el concreto diseñado puede considerarse apto para ser usado en pavimentos.
- Se comprobó el buen comportamiento del concreto permeable ante la incorporación de aditivo “Chemaplast” en la proporción de 250 ml/bolsa de cemento, que incrementó la trabajabilidad de la mezcla y aumentando la resistencia a la compresión en el orden de 21.78%.

5.2. RECOMENDACIONES

- Al término de la presente investigación en la ciudad de Cajamarca se han utilizado los siguientes aditivos plastificantes en diseños de mezcla de concreto permeable: Rheobuild® 1000, Sikament® 290N y Chemaplast, se recomienda el uso de otro tipo de aditivos.
- Al término de la presente investigación en la ciudad de Cajamarca se han utilizado fibras de polipropileno de 19 y 12 mm de longitud en diseños de mezcla de concreto permeable, se recomienda utilizar fibra con características diferentes en cuanto a longitud y clase de fibra.
- Se recomienda utilizar agregado grueso de perfil redondeado en el diseño de mezcla del concreto permeable para compararlo con la utilización de agregado angular utilizado en este estudio.
- Como la mayoría de materiales especiales, el concreto permeable tiene muchas ventajas tecnológicas, sin embargo, para impulsar su uso se recomienda continuar con investigaciones futuras, con el fin de ampliar sus aplicaciones.
- Se recomienda la implementación y calibración de los equipos que se encuentran en el Laboratorio de Ensayo de Materiales.

CAPÍTULO VI: LITERATURA CONSULTADA

6.1. TESIS

Aoki, Y. 2009. Development of Pervious Concrete. Thesis of Master of Engineering, University of Technology, Sydney.

Aquino Cusquisibán, R. 2015. Diseño y aplicación de concreto ecológico con fibras de polipropileno para pavimentos rígidos (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Pérez Tirado, A. 2016. Influencia de la fibra de acero y microsíllice en la resistencia a flexión del concreto ecológico $F'c=210\text{kg/cm}^2$ para pavimentos rígidos (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Azañedo Medina W. H., Chávez Juanito H., Muñoz Valdivia R. G. 2007. Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, Cemento portland tipo I con adición de fibras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Barahona Aguiluz R., Martínez Guerreo M., Zelaya Zelaya S. 2013. Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la Zona oriental de El Salvador (Tesis Profesional), Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador, Centro América.

Benites Bustamante, J. 2014. Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo Chemaplast (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Cruz Palafox C., Segovia López, A., Refugio Gonzales, M. 2014. Diseño de un concreto Permeable para la recuperación de Agua/ A pervious concrete design for wáter recovery (Programa Educativo de Ingeniería Civil). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

- Pérez Ramos, D. 2009. Estudio experimental de Concreto Permeable con Agregados Andesíticos, (Fin de Master), Universidad Nacional Autónoma de México.
- López Palacios, E. 2010. Control de calidad y colocación de concretos permeables (Tesis Profesional), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mour Yail, F; Castañeda U. L. 2014. Diseño y Aplicación de concreto poroso en pavimentos (Tesis Profesional), Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali, Bogotá, Colombia.
- García Haba, E. 2011. Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas mediterráneos. (Fin de Master). Universidad Politécnica de Valencia.
- Chávez Chaparro, G. 2013. Estudio y análisis de dosificaciones para la elaboración de hormigón poroso con materiales locales (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay.
- Hernández Díaz, B; Martínez Llorente, O. 2014. Diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena (Tesis Profesional), Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.
- López Fernández, A.E.; Paz Casas 2014. Diseño y caracterización mecánica del concreto permeable empleando diferentes aditivos (Tesis Profesional). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Morales Olivares J. 2004. Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo (Tesis Profesional), Universidad de Piura, Perú.
- Fernández Arrieta, R. J. Navas Carro, A. 2011. Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad, (Fin de Master), Universidad de Costa Rica.
- Trujillo López, A.; Quiroz Lasprilla, D. P. 2013. Pavimentos Porosos utilizados como sistemas alternativos al Drenaje Urbano (Tesis Profesional), Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali, Bogotá, Colombia.

Vigil Sánchez, Marlon Ebiezer (2012), Diseño, proceso constructivo y evaluación post construcción de un pavimento rígido de concreto permeable (Tesis Profesional). Universidad de El Salvador, San Salvador, Republica de El Salvador.

Calderón Colca, Y. V.; Charca Chura, J. A.; Yanqui Murillo, C. 2013. Investigación en Concreto Poroso (Investigación), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

6.2. ARTÍCULOS

Asociación de Productores del Cemento del Perú (Asocem), Boletín Técnico N 66- Ensayo a flexión del concreto.

Leguía M. Vélez. 2010. Permeabilidad y Porosidad del Concreto, Facultad de Tecnologías, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia.

N. Subramanian. 2008. Concreto permeable – un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos frente a los escasos de agua. En: The Indian Concrete Journal, vol82. dic. 08.

6.3. LIBROS Y REGLAMENTOS

Calderón Colca Y., Charca Chura J., Yanqui Murillo C. 2013. Estudio del concreto poroso para su aplicación en la construcción y la influencia de la forma de los agregados, granulometría de los agregados, porcentaje de vacíos y permeabilidad. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Concrete Mixture Evaluation and Acceptance for Air Field Pavements, Richard C. Meininger and Norm Nelson, NMRCA Publicación 178, setiembre 1991, NMRCA, Silver Spring, MD.

Hernández, Fernández y Baptista 2003: Metodología de la Investigación. México, Mc. Graw Hill.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Colombia). 2004. (Actas). Taller Internacional Aportes de la Perspectiva de Género en la

Promoción del Microempresariado para el Desarrollo Territorial (1, 2004, Bogotá, Colombia). Bogotá, Colombia. 102 p.

Malhotra V. M. 1969. Workability of concrete. Canada Mines Branch MPI. Reporte interno, Revista IMCYC, Vol. 7, N° 39

Matthew Offenberg. 2008. PE. Is Pervious Concrete Ready for Structural Applications. Structure Magazine. February 2008.

Rodríguez, J. 2008. Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráficos ligeros.

Rosell, J. J. 1986. La práctica del concreto poroso. Generalitat de Catalunya. Revista Carreteras núm. 52. Enero – febrero 1986.

Veles, L. 2010. Permeabilidad y porosidad en concreto. Revista Tecnologías lógicas.

6.4. NORMAS

ACI 211.3R. 2002.- Guide to Selecting Concrete proportioning without Slump.

ACI Committee 522R-10.- Report on Pervious Concrete. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.

ACI Committee 522.1. 2013.- Specification for Pervious Concrete Pavement. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.

ACI Committee 330.R. 2001.- Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich.

Pervious Concrete. 2009. Guideline to Mixture Proportioning. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA).

Pervious Concrete.2007. Hydrological Design and Resources. Portland Cement Association (PCA), National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), American Concrete Pavement Association (ACPA).

Specifier's Guide for Pervious Concrete Pavement Design. Versión 1.2, Colorado Ready Mixed Concrete Association 2009.

ASTM C 469. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

ASTM C 1688 / 1688M – Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Contenido de Vacíos y Densidad de la Mezcla de Concreto Permeable en Estado Fresco.

ASTM C 494 / 494M – Especificación Estándar para Aditivos Químicos para Concreto.

NTP 339.034. 2008. Revisada 2013. Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 339.035. 2008. Concreto. Método de ensayo para la medición del Asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.

NTP 339.079. 2012. Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 3ª. Ed. R. 2012-CRT-INDECOPI.

NTP 339.088. 2006. Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. 2ª. Ed. R. 2006-CRT-INDECOPI.

NTP 339.183. 2013. Hormigón. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 339.185. 2013. Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 400.012.2013 Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 400.017. 2011. Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso unitario") y los vacíos en los agregados. 3ª. Ed. R. 2011-CRT-INDECOPI.

NTP 400.018. 2013. Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μ (N° 200). 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 400.019. 2002. Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.

NTP 400.021. 2013. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 400.022. 2013. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 400.037.2002. Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.

6.5. PÁGINAS WEB

Ciudad del saber 2013. La Plaza Ciudad del Saber, Primer Edificio (C&S) LEED GOLD en Panamá. <http://ciudadelsaber.org/es/sala-prensa/noticias/la-plaza-ciudad-del-saber-primer-edificio-cs-leed-gold-en-panama/1385>.

Construcción y tecnología en concreto 2012. Concreto Permeable <http://www.imcyc.com/revistacyt/noviembre2012/pdfs/pavimentos.pdf>.

Fernando González, J. G. 2007. Sustentabilidad. Un producto comprometido. Concreto permeable. <http://www.imcyc.com/ct2007/sept07/sustentabilidad.htm>.

Subramanian News. 2009. Concreto permeable - un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos, frente a los escasos de agua http://www.asocem.org.pe/web/_infor_esp/Informe%20Especial_julio09.pdf

Hidrocreto 2015. Innovación mexicana para el control del agua pluvial
[https://twenergy.com/mx/a/hidrocreto-innovacion-mexicana-para-el-control del-agua-pluvial](https://twenergy.com/mx/a/hidrocreto-innovacion-mexicana-para-el-control-del-agua-pluvial).

Arango, S. 2014. Concreto permeable: Desarrollo urbano de bajo impacto.
<http://blog.360gradosenconcreto.com/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto-2/>

CAPÍTULO VII: ANEXOS

7.1. ANEXO I: PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

7.1.1. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

Tabla N° 36. Peso específico y absorción del agregado fino.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM C128, NTP 400.022)				
ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso muestra seca al horno (gr)	494.85	493.88	493.91	494.21
Volumen del frasco (cm ³)	500	500	500	500.00
Peso agua añadida al frasco (gr)	311.14	311.10	309.50	310.58
PESO ESPECIFICO DE MASA (gr/cm ³) =	2.62	2.61	2.59	2.61
PESO ESPECIFICO DE MASA sss (gr/cm ³) =	2.65	2.65	2.62	2.64
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm ³) =	2.69	2.70	2.68	2.69
ABSORCIÓN (%) =	1.04	1.24	1.23	1.17

Tabla N° 37. Peso específico y absorción del agregado grueso.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C127, NTP 400.02)				
ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso muestra seca al horno (gr)	5933	5936	5634	5934.33
Peso muestra sss (gr)	6000	6000	6000	6000
Peso muestra saturada sumergida en agua (gr)	3666	3669.2	3669.2	3668.13
PESO ESPECIFICO DE MASA (gr/cm ³) =	2.54	2.55	2.55	2.54
PESO ESPECIFICO DE MASA sss (gr/cm ³) =	2.57	2.57	2.57	2.57
PESO ESPECIFICO APARENTE (gr/cm ³) =	2.62	2.62	2.62	2.62
ABSORCIÓN (%) =	1.13	1.08	1.11	1.11

7.1.2. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

Tabla N° 38. Contenido de humedad del agregado fino.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO (ASTM C70)				
ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso de tara (gr)	104	105	89	99.33
Peso de tara + muestra húmeda (gr)	1228.3	1217.85	1219.5	1221.88
Peso de tara + muestra seca (gr)	1159.6	1150.3	1150.3	1153.40
HUMEDAD (%) =	6.50			

Tabla N° 39. Contenido de humedad del agregado grueso.

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C71)				
ENSAYO	1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso de tara (gr)	144	137	127	122.67
Peso de tara + muestra húmeda (gr)	1532	1488	1654	1558.00
Peso de tara + muestra seca (gr)	1528	1484	1649	1553.67
HUMEDAD (%) =	0.30			

7.1.3. PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

Tabla N° 40. Peso específico del agua.

PESO ESPECÍFICO DEL AGUA	
Peso de la fiola + agua (gr)	659.07
Peso de la fiola (gr)	160.02
Peso de agua (gr)	499.05
Volumen fiola (cm ³)	500.00
Peso específico=W/V (gr/cm ³)	0.9981
Peso específico (kg/m ³) =	998.10

Tabla N° 41. Factor f.

FACTOR f	
Peso específico del agua (kg)	998.10
Peso del cilindro + vidrio (kg)	4.760
Peso del cilindro + vidrio + agua (kg)	7.700
Peso del agua	2.940
f (1/m³) =	339.490

- **Peso Unitario del Agregado Fino**

Tabla N° 42. Peso unitario suelto seco del agregado fino.

PESO UNITARIO SUELTO SECO DEL AGREGADO FINO (ASTM C29, NTP 400.017)			
ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	3.89	3.89	3.89
Peso del recipiente + muestra (kg)	8.65	8.64	8.66
Peso de muestra (kg)	4.76	4.75	4.77
Factor f (1/m ³)	339.49	339.49	339.49
Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) =	1615.97	1612.58	1619.37
Peso Unitario Suelto Seco prom. (kg/m ³) =	1615.97		

Tabla N° 43. Peso unitario seco compactado del agregado fino.

PESO UNITARIO SECO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO (ASTM C29, NTP 400.017)			
ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	3.89	3.89	3.89
Peso del recipiente + muestra (kg)	8.98	8.99	8.99
Peso de muestra (kg)	5.09	5.10	5.10
Factor f (1/m ³)	339.49	339.49	339.49
PUC kg/cm ³	1728.00	1729.70	1731.40
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1729.70		

- **Peso Unitario del Agregado Grueso**

Tabla N° 44. Peso unitario suelto seco del agregado grueso.

PESO UNITARIO SUELTO SECO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C29, NTP 400.017)			
ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	3.89	3.89	3.89
Peso del recipiente + muestra (kg)	7.98	7.79	7.98
Peso de muestra (kg)	4.09	4.09	4.09
Factor f (1/m ³)	339.49	339.49	339.49
Peso Unitario Suelto Seco (Kg/m ³) =	1388.51	1386.82	1388.51
Peso Unitario Suelto Seco prom. (Kg/m ³) =	1387.95		

Tabla N° 45. Peso unitario seco compactado del agregado grueso.

PESO UNITARIO SECO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C29, NTP 400.017)			
ENSAYO	1°	2°	3°
Peso del recipiente (kg)	3.89	3.89	3.89
Peso del recipiente + muestra (kg)	8.45	8.45	8.45
Peso de muestra (kg)	4.57	4.57	4.57
Factor f (1/m ³)	339.49	339.49	339.49
Peso Unitario Seco Compactado (Kg/m ³) =	1549.77	1549.77	1549.77
Peso Unitario Seco Compactado prom. (Kg/m ³) =	1549.77		

7.1.4. ABRASIÓN DE LOS AGREGADOS

Tabla N° 46. Abrasión del agregado grueso (ASTM C131 / NTP 400.019).

MUESTRA							
TAMIZ		RETENIDO EN TAMIZ		ENSAYO			
#	(mm)	#	(mm)	1°	2°	3°	
1 ½"	37.50	1"	25.40	0.00	0.00	0.00	
1"	25.40	¾"	19.00	0.00	0.00	0.00	
¾"	19.00	½"	12.70	2500.00	2500.00	2500.00	
½"	12.70	⅜"	9.51	2500.00	2500.00	2500.00	
⅜"	9.51	¼"	6.35	0.00	0.00	0.00	
¼"	6.35	N° 4	4.76	0.00	0.00	0.00	
N° 4	4.76	N° 8	2.36	0.00	0.00	0.00	
Sumatoria:				5000.00	5000.00	5000.00	
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO							
ENSAYO				1°	2°	3°	PROMEDIO
Peso de muestra Seca (gr)				5000.00	5000.00	5000.00	5000.00
Wo=Peso muestra Seca + recipiente (gr)				3835.00	3825.00	3830.00	3830.00
Recipiente (gr)				305.50	305.50	305.50	305.50
Wf =Peso de muestra seca final (gr)				3529.50	3519.50	3524.50	3524.50
ABRASIÓN (%) = $(W_o - W_f) / W_o * 100$				29.41	29.61	29.51	29.51
Resistencia a la abrasión prom. (%) =							29.51

7.1.5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS

Tabla N° 47. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 1.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO - ENSAYO N° 1 (NTP 400.012)

PESO SECO INICIAL =		1500.00	gr.	Módulo de	3.012
PESO MENOR N° 200 =		13.00	gr.	Finura (Mf) =	
TAMIZ	(mm)	PESO RETENIDO (gr)		% RETENIDO	% QUE
N °	ABERTURA	PARCIAL	ACUMULADO	ACUMULADO	PASA
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	76.00	76.00	5.07	94.93
N 8	2.36	249.00	325.00	21.67	78.33
N 16	1.18	264.00	589.00	39.27	60.73
N 30	0.60	278.00	867.00	57.80	42.20
N 50	0.30	367.00	1234.00	82.27	17.73
N 100	0.15	193.00	1427.00	95.13	4.87
N 200	0.08	60.00	1487.00	99.13	0.87
Cazoleta	--	13.00	1500.00	100.00	0.00
Total		1500.00			

Tabla N° 48. Análisis granulométrico del agregado. Ensayo N° 2.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO - ENSAYO N° 2 (NTP 400.012)

PESO SECO INICIAL =		1500.00	gr.	Módulo de	3.154
PESO MENOR N° 200 =		18.00	gr.	Finura (Mf) =	
TAMIZ	(mm)	PESO RETENIDO (gr)		% RETENIDO	% QUE
N °	ABERTURA	PARCIAL	ACUMULADO	ACUMULADO	PASA
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	85.00	85.00	5.67	94.33
N 8	2.36	354.00	439.00	29.27	70.73
N 16	1.18	250.00	689.00	45.93	54.07
N 30	0.60	284.00	973.00	64.87	35.13
N 50	0.30	200.00	1173.00	78.20	21.80
N 100	0.15	199.00	1372.00	91.47	8.53
N 200	0.08	110.00	1482.00	98.80	1.20
Cazoleta	--	18.00	1500.00	100.00	0.00
Total		1500.00			

Tabla N° 49. Análisis granulométrico del agregado fino. Ensayo N° 3.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO - ENSAYO N° 3
(NTP 400.012)**

PESO SECO INICIAL =		1500.00	gr.	Módulo de	3.249
PESO MENOR N° 200 =		14.00	gr.	Finura (Mf) =	
TAMIZ	(mm)	PESO RETENIDO (gr)		% RETENIDO	% QUE
N °	ABERTURA	PARCIAL	ACUMULADO	ACUMULADO	PASA
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N°4	4.75	110.00	110.00	7.33	92.67
N 8	2.36	311.00	421.00	28.07	71.93
N 16	1.18	309.00	730.00	48.67	51.33
N 30	0.60	230.00	960.00	64.00	36.00
N 50	0.30	271.00	1231.00	82.07	17.93
N 100	0.15	191.00	1422.00	94.80	5.20
N 200	0.08	64.00	1486.00	99.07	0.93
Cazoleta	--	14.00	1500.00	100.00	0.00
Total		1500.00			

- El estudio muestra una granulometría ajustada al uso granulométrico "M" y un módulo de finura de 3.138.

Tabla N° 50. Husos granulométricos del agregado fino según NTP 400.012.

HUSOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO				
(% QUE PASA)				
N °	GRADACION "M"		GRADACION "C"	
	Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior
3/8"	100.00	100.00	100.00	100.00
N°4	89.00	100.00	95.00	100.00
N 8	65.00	100.00	80.00	100.00
N 16	45.00	100.00	50.00	85.00
N 30	25.00	80.00	25.00	60.00
N 50	5.00	48.00	10.00	30.00
N 100	0.00	12.00	2.00	10.00
N 200	0.00	0.00	0.00	0.00

Gráfica N° 16. Curva de distribución granulométrica del agregado fino. Ensayos N° 1,2 y 3.

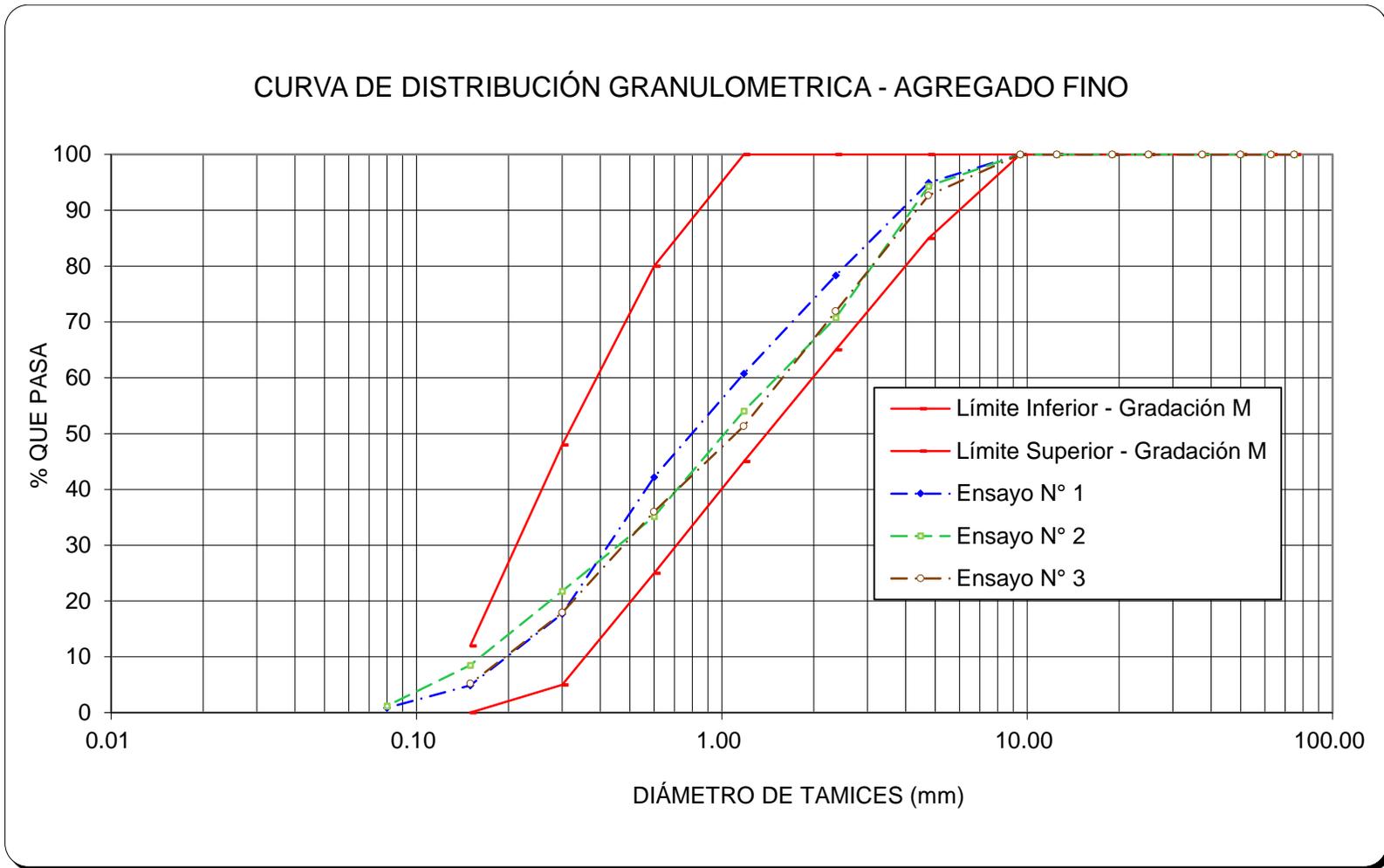


Tabla N° 51. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 1.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO – ENSAYO N° 1 (NTP 400.012)					
PESO SECO INICIAL =		8000.00	gr.	MÓDULO DE	6.862
PESO MENOR N° 200 =		1.00	gr.	FINURA (Mg) =	
TAMIZ	(mm)	PESO RETENIDO (gr)		% RETENIDO	% QUE
N °	ABERTURA	PARCIAL	ACUMULADO	ACUMULADO	PASA
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	52.20	52.20	0.65	99.35
1/2"	12.50	4188.00	4240.20	53.00	47.00
3/8"	9.50	2615.80	6856.00	85.70	14.30
N°4	4.75	1138.00	7994.00	99.93	0.08
N 8	2.36	5.00	7999.00	99.99	0.01
N 16	1.18	0.00	7999.00	99.99	0.01
N 30	0.60	0.00	7999.00	99.99	0.01
N 50	0.30	0.00	7999.00	99.99	0.01
N 100	0.15	0.00	7999.00	99.99	0.01
N 200	0.08	0.00	7999.00	99.99	0.01
Cazoleta	.-	1.00	8000.00	100.00	0.00
Total		8000.00			

Tabla N° 52. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 2.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO – ENSAYO N° 2 (NTP 400.012)					
PESO SECO INICIAL =		8000.00	gr.	MÓDULO DE	6.806
PESO MENOR N° 200 =		2.50	gr.	FINURA (Mg) =	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (gr)		% RETENIDO	% QUE
N °	(mm)	PARCIAL	ACUMULADO	ACUMULADO	PASA
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	17.30	17.30	0.22	99.78
1/2"	12.50	3650.00	3667.30	45.84	54.16
3/8"	9.50	2780.00	6447.30	80.59	19.41
N°4	4.75	1550.20	7997.50	99.97	0.03
N 8	2.36	0.00	7997.50	99.97	0.03
N 16	1.18	0.00	7997.50	99.97	0.03
N 30	0.60	0.00	7997.50	99.97	0.03
N 50	0.30	0.00	7997.50	99.97	0.03
N 100	0.15	0.00	7997.50	99.97	0.03
N 200	0.08	0.00	7997.50	99.97	0.03
Cazoleta	.-	7.00	8000.00	100.00	0.00
Total		8000.00			

Tabla N° 53. Análisis granulométrico del agregado grueso. Ensayo N° 3.

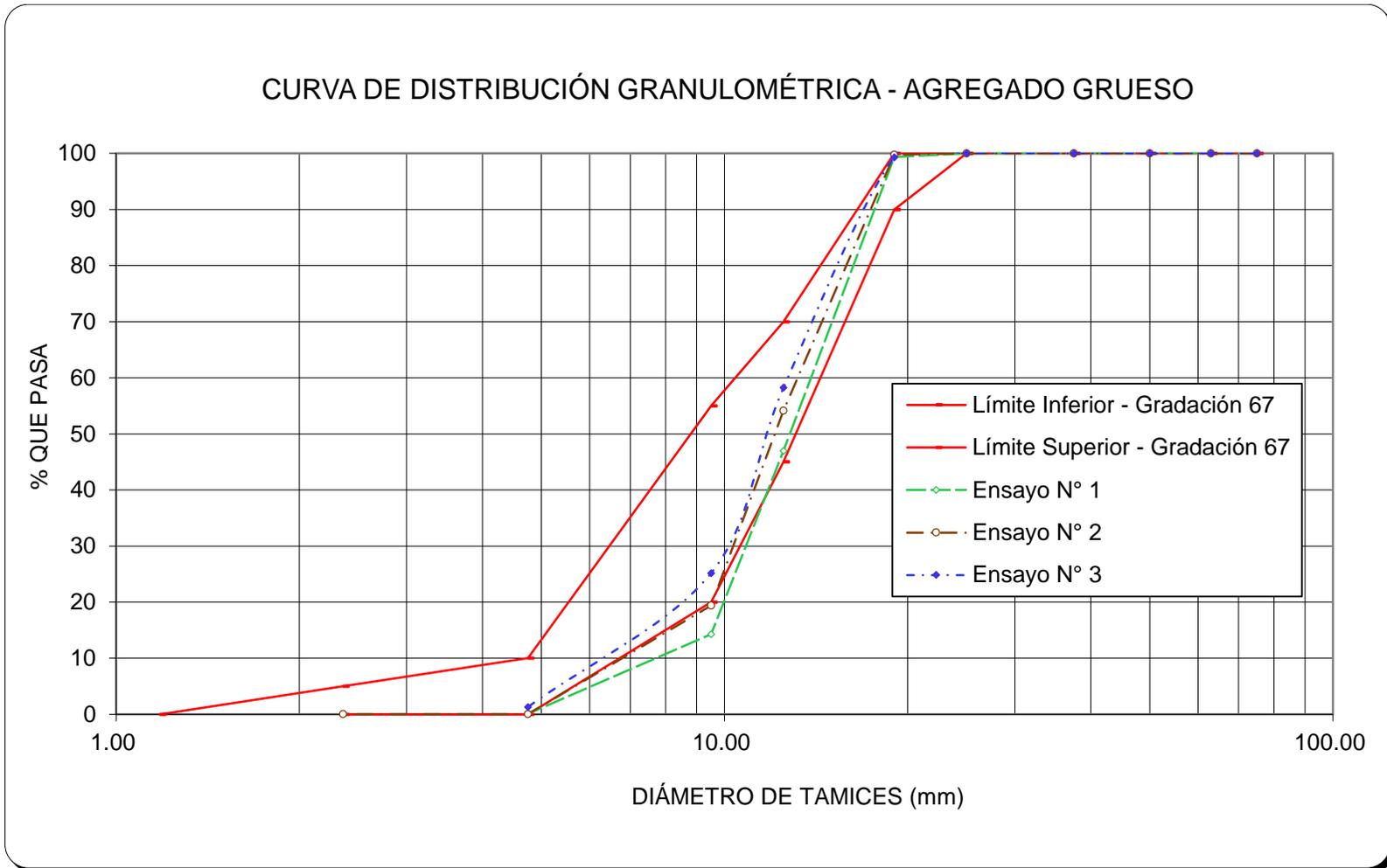
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO – ENSAYO N° 3 (NTP 400.012)					
PESO SECO INICIAL =		8000.00	gr.	MÓDULO DE	6.742
PESO MENOR N° 200 =		1.90	gr.	FINURA (Mg) =	
TAMIZ	ABERTURA	PESO RETENIDO (gr)		% RETENIDO	% QUE
N °	(mm)	PARCIAL	ACUMULADO	ACUMULADO	PASA
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	56.50	56.50	0.71	99.29
1/2"	12.50	3281.60	3338.10	41.73	58.27
3/8"	9.50	2650.00	5988.10	74.85	25.15
N°4	4.75	1910.00	7898.10	98.73	1.27
N 8	2.36	100.00	7898.10	99.98	0.02
N 16	1.18	0.00	7898.10	99.98	0.02
N 30	0.60	0.00	7898.10	99.98	0.02
N 50	0.30	0.00	7898.10	99.98	0.02
N 100	0.15	0.00	7898.10	99.98	0.02
N 200	0.08	0.00	7898.10	99.98	0.02
Cazoleta	-.-	8.00	8000.00	100.00	0.00
Total		1042.00			

La curva granulométrica del agregado grueso está cerca del límite inferior del HUSO GRANULOMÉTRICO N° 67 de la NORMA A.S.T.M. C 33 M-11 y tiene un módulo de finura de 6.80.

Tabla N° 54. Husos granulométricos del agregado grueso según NTP 400.012.

TAMIZ	HUSOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO (MÍNIMO Y MÁXIMO % QUE PASA)									
	HUSO 57		HUSO 7		HUSO 67		HUSO 56		HUSO 467	
3"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2 ½"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1 ½"	100	100	100	100	100	100	100.00	100	95.00	100
1"	95	100	100	100	100	100	90.00	100	58.00	81.00
¾"	68	85.00	100	100	90.00	100	40.00	85.00	35.00	70.00
½"	25	60.00	90.00	100	45.00	70.00	10.00	40.00	19.00	45.00
⅜"	15	45.00	40.00	70.00	20.00	55.00	0.00	15.00	10.00	30.00
N°4	0.00	10.00	0.00	15.00	0.00	10.00	0.00	5.00	0.00	5.00
N 8	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N 16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N 30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N 50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N 100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N 200	0.00	0.00			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Gráfica N° 17. Curva de distribución granulométrica del agregado grueso. Ensayos N° 1, 2 y 3.



7.2. ANEXO II. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO ANTISALITRE MS



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
Versión 01

CEMENTO ANTISALITRE NUEVA FÓRMULA **FORTIMAX3**

Cemento Portland Tipo MS (MH) (R)

Conforme a la NTP 334.082 / ASTM C1157

Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.082 / ASTM C1157
Contenido de Aire	%	4	NO ESPECIFICA
Expansión en Autoclave	%	0.07	Máximo 0.80
Superficie Especifica	cm ² /g	4560	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	4.0	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	2.95	NO ESPECIFICA
Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	23.3 (237)	Mínimo 11.0 (Mínimo 112)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	31.4 (320)	Mínimo 18.0 (Mínimo 184)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	43.3 (441)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)
Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	179	Mínimo 45
Fraguado Final	min	358	Máximo 420
Expansión Barra de Mortero Edad 14	%	0.007	Máximo 0.020
Expansión por Sulfato Edad 6 meses	%	0.050	Máximo 0.10
Calor de Hidratación a 7 Días	Kcal/Kg	67	Máximo 70
Opción R: Baja reactividad con agregados álcali-silice reactivos :			
Expansión a 14 días	%	0.016	Máximo 0.020
Expansión a 56 días	%	0.032	Máximo 0.060

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016
La expansión de la barra del mortero corresponde al mes de Mayo 2016
La expansión por sulfatos a 6 meses corresponde al mes de Diciembre 2015
El calor de hidratación corresponde al mes de Abril 2016
Opción R corresponde al mes de Marzo 2016
(*) Requisito opcional.

Ing. Ivanoff V. Rojas Tello

Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : **Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.**

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

7.3. ANEXO III. FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO CHEMAPLAST



Chema
Calidad que Construye

Hoja Técnica
CHEMAPLAST
Aditivo reductor de agua. Mejora la trabajabilidad del concreto aumentando la resistencia a la penetración de humedad

V.2016

DESCRIPCIÓN El **CHEMAPLAST** es un aditivo plastificante de color marrón a base de agentes dispersantes de alta eficacia exento de cloruros. Es un producto adecuado a las especificaciones ASTM C-494 tipo A.

Hace posible diseñar mezclas de concreto de fácil colocación con un contenido de hasta 10% menor de agua, generando aumento en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto. Tiene además propiedades de reducir la permeabilidad del concreto.
(Ver cuadro de Impermeabilizantes Integrales CHEMA).

VENTAJAS El concreto tratado con **CHEMAPLAST** tiene las siguientes ventajas:

- Mejor acabado: La plasticidad permite un mejor acabado, por lo tanto, aumenta la durabilidad.
- Aumenta la trabajabilidad y facilita la colocación del concreto en elementos esbeltos con alta densidad de armadura con una ligera vibración, sin necesidad de aumentar la relación agua / cemento.
- Disminuye la contracción debido a la mejor retención de agua así como mayor aglomeración interna del concreto en estado plástico.
- Aumenta la hermeticidad al agua impermeabilizándolo y produciendo mayor resistencia a la penetración de la humedad y por consiguiente al ataque de sales.
- Aumenta la durabilidad debido a su alto grado de resistencia al salitre, sulfatos y cloruros.
- No contiene cloruros.
- Aumenta la resistencia a la compresión y flexión a todas las edades; mejora la adherencia al acero de construcción.
- No transmite olor ni sabor al agua potable, ni la contamina. Cuenta con certificado CEPIS¹.

USOS

- En concretos estructurales de edificaciones y en elementos esbeltos.
- En concreto caravista.
- En concretos pretensados y post-tensados.
- En obras hidráulicas.
- En concretos para elementos pre-fabricados: postes, buzones, cajas, tuberías, etc.
- En concretos para pavimentos y puentes.
- En concretos que deben ser desencofrados a temprana edad.
- En concretos de reparación en general.
- En construcciones frente al mar se recomienda utilizarlo desde los cimientos, en el concreto de techos, vigas, columnas, pisos, en el mortero de asentado y en el tarrajeo. En esculturas de concreto.

DATOS TÉCNICOS

Densidad (Kg/gal) :4.10 - 4.30
pH : 8.0 – 9.5
Color: Marrón oscuro
Aspecto: Líquido

¹ CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.



CETOX
CENTRO TECNOLÓGICO S.A.C.
273-2318 | 999212833

ATENCIÓN AL CLIENTE:
(511) 336-8407

Página 1 de 3



Calidad que Construye

Hoja Técnica

CHEMAPLAST

Aditivo reductor de agua. Mejora la trabajabilidad del concreto aumentando la resistencia a la penetración de humedad

V.2016

PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO

1. Agregar de 143 ml a 300 ml de **CHEMAPLAST** por bolsa de cemento al agua de amasado de acuerdo al efecto deseado, sin combinarlo con otros aditivos. Se sugiere realizar pruebas previas con los materiales, tipo de cemento y condiciones de obra.
2. Para morteros impermeables usar diseño 1:3 (1 de cemento+ 3 de arena fina).

RENDIMIENTO

La dosis sugerida es de 143 ml a 300 ml de **CHEMAPLAST** por bolsa de cemento.
La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales, tipo de cemento y en las condiciones de obra.

PRESENTACIÓN

Envase de 1 gal. (Código: 05003004)
Envase de 5 gal. (Código: 05003005)
Envase de 50 gal.(Código: 05003193)
Envase de 55 gal.(Código: 05003055)

ALMACENAMIENTO

De almacenarse en lugar fresco, ventilado y sellado bajo techo su tiempo de vida útil será de 1 año.

PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES

En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico).
Producto tóxico. **NO INGERIR**, mantenga el producto fuera del alcance de los niños.
No coma ni beba mientras manipula el producto.
Lávese las manos luego de manipular el producto.
Utilice guantes de seguridad, gafas y ropa protectoras de trabajo.
Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados.
En caso de contacto con los ojos y la piel, lávese con abundante agua.
Si es ingerido, no provocar vómitos; procure buscar ayuda médica inmediata.

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.

CETOX
CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.S.
273-2318 / 999912833

ATENCIÓN AL CLIENTE:
(511) 336-8407

Página 2 de 3



Calidad que Construye

Hoja Técnica

CHEMAPLAST

Aditivo reductor de agua. Mejora la trabajabilidad del concreto aumentando la resistencia a la penetración de humedad

V.2018

CUADRO DE IMPERMEABILIZANTES INTEGRALES CHEMA

CHEMA 1 POLVO	Para preparar morteros y concretos súper Impermeables en cisternas, tanques elevados, jardineras, zócalos, zonas húmedas y otros.
CHEMA 1 LÍQUIDO	Para mortero y concreto impermeables.
CHEMITA EN POLVO	Impermeabilizante en polvo para morteros y concreto muy económico.
CHEMAPLAST	Plastificante reductor de agua e impermeabilizante integral que otorga mayor f'c ideal para lograr un concreto caravista de alta calidad.
CHEMAPLAST IMPERMEABILIZANTE	Impermeabilizante para cimientos y sobrecimientos, morteros de uso extensivo, además de plastificante para concreto caravista.

7.4. ANEXO IV. FICHA TÉCNICA DE FIBRA DE POLIPROPILENO



Chema
Calidad que Construye

Hoja Técnica

CHEMA FIBRA ULTRAFINA

Fibra de polipropileno para refuerzo tridimensional en morteros y concretos, reductor de rajaduras

ADI.2.0.1
RMP - V.0

DESCRIPCIÓN

Las fibras sintéticas **CHEMA FIBRA ULTRAFINA** corresponden a una nueva generación de micro fibras de polipropileno para refuerzo secundario de concreto. Esta tecnología única combina un diámetro ultra fino y ultra alta resistencia.

Literalmente, cientos de millones de filamentos de las Fibras Sintéticas **CHEMA FIBRA ULTRAFINA** están en un metro cúbico de concreto, creando una red tridimensional extremadamente densa en el concreto. Esta red, constituida por filamentos de alta resistencia a la tensión y alto módulo, inhiben el agrietamiento del concreto a un nivel microscópico.

La habilidad de las fibras **CHEMA FIBRA ULTRAFINA** de reducir el agrietamiento en las primeras 24 horas después de colocado el concreto, permiten una dramática reducción de la dosis recomendada, cuando se compara con otras fibras monofilamento del mercado.

VENTAJAS

- Excelente acabado.
- Distribución uniforme en la matriz.
- Virtualmente invisible en el concreto.
- Cuando se mezcla según la norma de ASTM C94, las fibras siempre están en la posición adecuada.
- Reduce la formación de grietas por contracción plástica, agrietamiento plástico y grietas por asentamiento en el concreto (ICCES 32) y migración de agua en exudación.
- Incrementa la resistencia al impacto (ASTM C344), la resistencia a facturación (ASTM C490) y abrasión (durabilidad de la superficie).
- Reduce la permeabilidad.
- Reduce el astillamiento causado por la explosión del concreto expuesto a fuego.

USOS

- En losas de concreto.
- En elementos pre fabricados de concreto.
- En tarrajes para evitar fisuramiento superficial.
- En cualquier estructura de concreto o elemento de concreto donde se requiera evitar fisuras superficiales.

DATOS TÉCNICOS

Material	: Polipropileno Virgen 100%
Diseño	: Monofilamento
Diámetro	: 12 Micrones (+1/-3 Micrones)
Color	: Natural
Gravedad Específica	: 0.91 gr/cm ³
Humedad	: < 2%
Área de Superficie Específica	: 370 m ² /Kg / 1.790 ft ² /lb
Punto de Fusión	: 160°C / 320°F
Módulo de Elasticidad	: 5.5 GPA / 800 ksi
Tenacidad	: 8.5 cN/dtex/765 MPa/110 KSI
Resistencia a la Tensión	: 110 ksi (765 MPa)
Punto de Ignición	: 590°C / 1094°F
Conductividad Térmica y Eléctrica	: Baja
Elongación a la Ruptura	: < 25%
Absorción de Agua	: Cero
Resistencia Química y Alcalina	: Excelente



CETOX
CENTRO TECNOLÓGICO S.A.S.
273-2318 / 899012033

ATENCIÓN AL CLIENTE:

(511) 336-8407

Página 1 de 2



CHEMA FIBRA ULTRAFINA

Fibra de polipropileno para refuerzo tridimensional en morteros y concretos, reductor de rajaduras

ADI.2.R.1
RMP - V.0

Lubricación : < 15%
Longitudes de Cortes de Fibras Disponibles : ½" (12 mm) y ¾" (19 mm) y combinaciones

PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO

1. Se agrega una bolsa hidrosoluble de 300 gr directamente al mixer por cada m³ de concreto o mortero antes, durante o después de que la mezcla de concreto este lista. Se recomienda seguir los procedimientos de mezcla especificados en ASTM C94.

RENDIMIENTO

Una bolsa de 300 gr por m³ de concreto, mortero o según recomendación del proyectista.

PRESENTACIÓN

Envase de 300 gr (Código: 27003404)

ALMACENAMIENTO

De almacenarse en un lugar fresco, ventilado y sellado bajo techo el tiempo de vida útil será de 3 años.

PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES

- En caso de emergencia, llame al CETDX (Centro Toxicológico).
- Producto tóxico, NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños.
- No comer ni beber mientras manipula el producto.
- Lavarse las manos luego de manipular el producto.
- Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo.
- Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados.
- En caso de contacto con los ojos y la piel, lávelos con abundante agua.
- Si es ingerido, no provocar vómitos, procurar ayuda médica inmediata.

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.

7.5. ANEXO V. DISEÑOS DE MEZCLAS

7.5.1. DISEÑO BASE I

a. Cemento

El contenido de vacíos para el diseño base I es 15 %, al cual le corresponde 20 de contenido de pasta en volumen. El grado de compactación es bien compactado (compactado 3 capas, 25 golpes por capa, método de apisonado). Se presenta en la tabla N° 55 las consideraciones para el diseño base I.

Tabla N° 55. Consideraciones para el Diseño Base I.

CONSIDERACIONES PARA DISEÑO BASE I		
Vacíos (%)	15	(Gráfica N° 02)
Contenido de pasta (Volumen)	20	(Gráfica N° 03)
Compactación	Método de apisonado	Compactado 3 capas, 25 golpes por capa.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se obtiene el contenido de cemento para el diseño base I con las siguientes ecuaciones:

Volumen de pasta = Volumen de cemento + volumen de agua

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Pe del cemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Pe del agua}}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$0.20 = \frac{\text{Cemento}}{2950} + \frac{0.30 \text{ Cemento}}{1000}$$

Despejando se tiene:

$$\text{Cemento} = 313.00 \text{ kg/m}^3$$

b. Agua de diseño

Para la presente investigación $a/c = 0.30$, reemplazamos valores en la siguiente fórmula:

$$\text{Agua de diseño} = \frac{a}{c} * \text{Cemento}$$

$$\text{Agua de diseño} = 0.30 * 313.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} = 93.90 \text{ lt}$$

c. Agregado Grueso

De la tabla N° 6 seleccionamos el peso volumétrico seco compactado del agregado grueso (b/b_0), según el contenido de agregado fino.

Para el diseño base I, el contenido de agregado fino es 10% al cual le corresponde un valor de $b/b_0 = 0.93$ y utilizamos la siguiente formula:

$$\text{Peso Ag. grueso} = b/b_0 \times \text{Peso unitario seco compactado Ag. Grueso}$$

Reemplazando valores:

$$\text{Peso Ag. grueso} = 0.93 \times 1549.77 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso Ag. grueso} = 1441.29 \text{ kg/m}^3$$

d. Agregado fino

El peso seco del agregado fino es calculado utilizando el método de volúmenes absolutos, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen abs. de cemento} = (313.00 \text{ kg}) / (2950 \text{ kg/m}^3) = 0.1061 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de vacíos} = (15) / (100) = 0.15 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agua} = (93.90) / (1000) = 0.0939 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agregado grueso} = (1441.29) / (2540) = 0.5674 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria de volúmenes absolutos} = 0.91744 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para 1m³ de concreto permeable, restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen abs. de agregado fino} = 1 - 0.91744 = 0.08256 \text{ m}^3$$

Finalmente, de la siguiente ecuación obtenemos el peso del agregado fino seco:

$$\text{Peso del ag. fino seco} = \text{Volumen absoluto de ag. fino} * (\text{Pe ag. fino})$$

Reemplazando se tiene:

$$\text{Peso del ag. fino seco} = 0.08256 \text{ m}^3 * 2610 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del ag. fino seco} = 215.49 \text{ kg/m}^3$$

e. Resumen de los pesos secos de los materiales por m³ de concreto permeable

Materiales de diseño:

Agua de diseño:	93.90	lt / m ³
Cemento:	313.00	kg / m ³
Agregado grueso:	1441.29	kg / m ³
Agregado fino:	215.49	kg / m ³
Total:	2063.68	kg / m ³

f. Corrección por humedad de los agregados

Materiales Húmedos:

$$\begin{aligned} \text{Agua efectiva:} & \quad 93.90 - \\ & \quad (1441.29 * (0.30 - 1.11) / 100 + \\ & \quad 215.49 * (6.5 - 1.17) / 100) \\ & \quad = 94.09 \quad \text{lt / m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cemento:} \quad 313.00 \quad \text{kg / m}^3$$

$$\text{Agregado grueso:} \quad 1441.29 * (1 + 0.30) / 100$$

$$= 1445.61 \quad \text{kg / m}^3$$

$$\text{Agregado fino:} \quad 215.49 \cdot (1+6.5) / 100$$

$$= 229.50 \quad \text{kg / m}^3$$

Entonces se tiene:

$$\text{Agua efectiva:} \quad 94.09 \quad \text{lt / m}^3$$

$$\text{Cemento:} \quad 313.00 \quad \text{kg / m}^3$$

$$\text{Agregado fino:} \quad 229.50 \quad \text{kg / m}^3$$

$$\text{Agregado grueso:} \quad 1445.61 \quad \text{kg / m}^3$$

$$\text{Total:} \quad 2082.20 \quad \text{kg/m}^3$$

g. Proporcionamiento de materiales

Proporcionamiento en peso:

$$\frac{313.00}{313.00} : \frac{229.50}{313.00} : \frac{1445.61}{313.00} / \frac{94.09}{313.00} \times 42.5$$

$$1 : 0.733 : 4.619 / 12.78 \text{ lt/bolsa}$$

Proporcionamiento en volumen aparente:

$$\text{Cemento:} \quad 7.36 \quad \text{pie}^3$$

$$\text{Ag. Fino:} \quad 4.71 \quad \text{pie}^3$$

$$\text{Ag. Grueso:} \quad 36.67 \quad \text{pie}^3$$

$$\text{Agua:} \quad 12.78 \quad \text{Lt/bolsa}$$

$$1 : 0.64 : 4.98 / 12.78 \text{ lt/bolsa}$$

h. Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño base I

Cálculo de volumen para tres especímenes cilíndricos

$$\text{Diámetro promedio } D = 0.153 \text{ m}$$

$$\text{Altura promedio } h = 0.302 \text{ m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N}^\circ \text{ de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = V = \pi D^2 \times h \times 1.07 / 4 \times 3$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 0.0178232 \text{ m}^3$$

Aproximando se tiene:

$$V = 0.02 \text{ m}^3$$

i. Materiales corregidos por humedad para tres especímenes (V = 0.02 m³)

Agua efectiva:	94.09 lt / m ³ *0.02	=	1.88	lt
Cemento:	313.00 kg / m ³ *0.02	=	6.26	kg
Agregado fino:	229.50 kg / m ³ *0.02	=	4.59	kg
Agregado grueso:	1445.61 kg / m ³ *0.02	=	28.91	kg
Total:			41.64	kg

j. Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento:	0	pulgadas
- Agua adicional:	0.405	lt
- Peso unitario (concreto fresco):	2022.73	kg/m ³

k. Rendimiento de la mezcla

- Rendimiento:

$$\frac{42.05 \text{ kg}}{2022.73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020788174$$

l. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla

Aporte de agua de los agregados:

$$\text{Aporte de humedad superficial del ag. grueso} = 1441.29*0.02*(0.30-1.11) = - 0.2335$$

$$\text{Aporte de humedad superficial del ag. fino} = 215.49*0.02*(6.50-1.17) = 0.2297$$

$$\text{Volumen abs. de cemento} = 6.26 / 2950 = 0.002122 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agua} = 2.29-0.2335+0.2297 / 1000 = 0.002283 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agr. grueso} = 1441.29*0.02-0.2335 / 2540 = 0.01126 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agr. fino} = 215.49 \cdot 0.02 + 0.2297 / 2610 = 0.00174 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volumen Abs.} = 0.017401 \text{ m}^3$$

Por lo tanto,

para el DBI se tiene:

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (0.020788174 - 0.017401) / 0.020788174 \cdot 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = 16.29 \%$$

7.5.2. DISEÑO BASE II y III

a. Cemento

El contenido de vacíos para el diseño base II y III es 17 %, al cual le corresponde 25 de contenido de pasta en volumen. El grado de compactación es “ligeramente compactado” para lo cual se hace dos reducciones al grado de compactación que fue aplicado al diseño base I; el 60% de la compactación por el método de apisonado (3 capas, 15 golpes por capa) para el diseño base II y para al diseño base III el 32 % (3 capas, 08 golpes por capa). Se presentan en las tablas N° 56 y 57 las consideraciones para el diseño base II y III.

Tabla N° 56. Consideraciones para el diseño base II.

CONSIDERACIONES PARA DISEÑO BASE II		
Vacíos (%)	17	(Gráfica N° 02)
Contenido de pasta (Volumen)	25	(Gráfica N° 03)
Compactación	Método de apisonado	Compactado 3 capas, 15 golpes por capa.

Tabla N° 57. Consideraciones para el diseño base III.

CONSIDERACIONES PARA DISEÑO BASE III		
Vacíos (%)	17	(Gráfica N° 02)
Contenido de pasta (Volumen)	25	(Gráfica N° 03)
Compactación	Método de apisonado	Compactado 3 capas, 08 golpes por capa.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se obtiene el contenido de cemento para el diseño base II y III con las siguientes ecuaciones:

Volumen de pasta = Volumen de cemento + volumen de agua

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Pe del cemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Pe del agua}}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$0.25 = \frac{\text{Cemento}}{2950} + \frac{0.30 \text{ Cemento}}{1000}$$

Despejando se tiene:

$$\text{Cemento} = 391.25 \text{ kg/m}^3$$

b. Agua de diseño

Teniendo en cuenta la relación seleccionada para la presente investigación de $a/c = 0.30$, reemplazamos valores en la siguiente fórmula:

$$\text{Agua de diseño} = \frac{a}{c} * \text{Cemento}$$

$$\text{Agua de diseño} = 0.30 * 391.25 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} = 117.37 \text{ lt}$$

c. Agregado Grueso

De la tabla N° 6 seleccionamos el peso volumétrico seco compactado del agregado grueso (b/b_0), según el contenido de agregado fino.

Para el diseño base II y III, el contenido de agregado fino es 10% al cual le corresponde un valor de $b/b_0 = 0.93$ y utilizamos la siguiente formula:

$$\text{Peso Ag. grueso} = b/b_0 \times \text{Peso unitario seco compactado Ag. Grueso}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\text{Peso Ag. grueso} = 0.93 \times 1549.77 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso Ag. grueso} = 1441.29 \text{ kg/m}^3$$

d. Agregado fino

El peso seco del agregado fino es calculado utilizando el método de volúmenes absolutos, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen abs. de cemento} = (391.25 \text{ kg}) / (2950 \text{ kg/m}^3) = 0.1326 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de vacíos} = (17)/(100) = 0.17 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agua} = (117.37)/(1000) = 0.117 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agregado grueso} = (1441.29)/(2540) = 0.5674 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria de volúmenes absolutos} = 0.98744 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para 1m^3 de concreto permeable, restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad de la siguiente manera:

$$\text{Volumen abs. de agregado fino} = 1 - 0.98744 = 0.01256 \text{ m}^3$$

Finalmente, de la siguiente ecuación obtenemos el peso del agregado fino seco:

$$\text{Peso del ag. fino seco} = \text{Volumen absoluto de ag. fino} * (\text{Pe ag. fino})$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\text{Peso del ag. fino seco} = 0.01256 \text{ m}^3 * 2610 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del ag. fino seco} = 32.79 \text{ kg/m}^3$$

e. Resumen de los pesos secos de los materiales por m^3 de concreto permeable

Materiales de diseño:

Agua de diseño:	117.37	lt / m^3
Cemento:	391.25	kg / m^3
Agregado grueso:	1441.29	kg / m^3
Agregado fino:	32.79	kg / m^3
Total:	1982.70	kg / m^3

f. Corrección por humedad de los agregados

Materiales Húmedos:

$$\text{Agua efectiva:} \quad 117.37 -$$

$$(1441.29*(0.30-1.11) / 100 + 32.79*(6.5-1.17) / 100) = 127.30 \text{ lt / m}^3$$

Cemento: 391.25 kg / m³

Agregado grueso: $1441.29*(1+0.30) / 100 = 1445.61 \text{ kg / m}^3$

Agregado fino: $32.79*(1+6.5) / 100 = 34.92 \text{ kg / m}^3$

Entonces se tiene:

Agua efectiva: 127.30 lt / m³

Cemento: 391.25 kg / m³

Agregado fino: 34.92 kg / m³

Agregado grueso: 1445.61 kg / m³

Total: 1999.08 kg/m³

g. Proporcionamiento de materiales

Proporcionamiento en peso:

$$\frac{391.25}{391.25} : \frac{34.92}{391.25} : \frac{1445.61}{391.25} / \frac{127.30}{391.25} \times 42.5$$

$$1 : 0.089 : 3.695 / 13.83 \text{ lt/bolsa}$$

Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento: 9.21 pie³

Ag. Fino: 0.72 pie³

Ag. Grueso: 36.672 pie³

Agua: 13.83 Lt/bolsa

$$1 : 0.078 : 3.984 / 13.83 \text{ lt/bolsa}$$

h. Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño base II y III

Cálculo de volumen para tres especímenes cilíndricos

Diámetro promedio $D = 0.153$ m

Altura promedio $h = 0.302$ m

Desperdicios = 1.07

Nº de testigos = 3

Volumen = $V = \pi D^2 x h x 1.07 / 4 x 3$

Reemplazando valores se tiene:

$V = 0.0178232$ m³

Aproximando se tiene:

$V = 0.02$ m³

i. Materiales corregidos por humedad para tres especímenes ($V = 0.02$ m³)

Agua efectiva:	127.3 lt / m ³ * 0.02	=	2.55 lt
Cemento:	391.25 kg / m ³ * 0.02	=	7.82 kg
Agregado fino:	34.92 kg / m ³ * 0.02	=	0.70 kg
Agregado grueso:	1445.61 kg / m ³ * 0.02	=	28.91 kg
Total:			39.98 kg

j. Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento:	0	pulgadas
- Agua adicional:	0.105	lt
- Peso unitario (concreto fresco) DB II:	1996.05	kg/m ³
- Peso unitario (concreto fresco) DB III:	1979.65	kg/m ³

k. Rendimiento de la mezcla

- Rendimiento DBII:

$$\frac{40.09 \text{ kg}}{1996.05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020082959$$

- Rendimiento DBIII:

$$\frac{40.09 \text{ kg}}{1979.65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020249396$$

I. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene:

$$\text{Aporte de humedad superficial del ag. grueso} = 1441.29 * 0.02 * (0.30 - 1.11) = - 0.2335$$

$$\text{Aporte de humedad superficial del ag. fino} = 32.79 * 0.02 * (6.50 - 1.17) = 0.035$$

$$\text{Volumen abs. de cemento} = \frac{7.82}{2950} = 0.002653 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agua} = \frac{(2.65 - 0.2335 + 0.035)}{1000} = 0.00245 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agr. grueso} = \frac{(1441.29 * 0.02 - 0.2335)}{2540} = 0.011257 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agr. fino} = \frac{(32.79 * 0.02 + 0.035)}{2610} = 0.000265 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volumen Abs.} = 0.016626 \text{ m}^3$$

Por lo tanto,

para el DBII se tiene:

$$\text{Porcentaje de vacíos DBII} = \frac{(0.020082959 - 0.016626)}{0.020082959} * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos DBII} = 17.21 \%$$

para el DBIII se tiene:

$$\text{Porcentaje de vacíos DBIII} = \frac{(0.020249396 - 0.016626)}{0.020249396} * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos DBIII} = 17.89 \%$$

7.5.3. DISEÑO BASE IV

a. Cemento

El contenido de vacíos para el diseño base IV es 16 %, al cual le corresponde 26 de contenido de pasta en volumen. El grado de compactación es “ligeramente compactado”, se le imparte la compactación equivalente al 32 % de la compactación por el método de apisonado (3 capas, 08 golpes por capa), se presenta en la tabla N° 58 las consideraciones para el diseño base IV.

Tabla N° 58. Consideraciones para el diseño base IV.

CONSIDERACIONES PARA DISEÑO BASE IV		
Vacíos (%)	16	(Gráfica N° 02)
Contenido de pasta (Volumen)	26	(Gráfica N° 03)
Compactación	Método de apisonado	Compactado 3 capas, 08 golpes por capa.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se obtiene el contenido de cemento para el diseño base IV con las siguientes ecuaciones:

Volumen de pasta = Volumen de cemento + volumen de agua

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Pe del cemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Pe del agua}}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$0.26 = \frac{\text{Cemento}}{2950} + \frac{0.30 \text{ Cemento}}{1000}$$

Despejando se tiene:

$$\text{Cemento} = 406.90 \text{ kg/m}^3$$

b. Agua de diseño

Teniendo en cuenta la relación seleccionada para la presente investigación de $a/c = 0.30$, reemplazamos valores en la siguiente fórmula:

$$\text{Agua de diseño} = \frac{a}{c} * \text{Cemento}$$

$$\text{Agua de diseño} = 0.30 * 406.90 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} = 122.07 \text{ lt}$$

c. Agregado Grueso

Haciendo uso de tabla N° 6 seleccionamos el peso volumétrico seco compactado del agregado grueso (b/b_0), según el contenido de agregado fino.

Para el diseño base IV el contenido de agregado fino es 10%, al cual le corresponde un valor de $b/b_0 = 0.93$ y reemplazamos en la siguiente fórmula.

$$\text{Peso Ag. grueso} = b/b_0 * \text{Peso unitario seco compactado Ag. Grueso}$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\text{Peso Ag. grueso} = 0.93 * 1549.77 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso Ag. grueso} = 1441.29 \text{ kg/m}^3$$

d. Agregado fino

El peso seco del agregado fino es calculado utilizando el método de volúmenes absolutos, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen abs. de cemento} = (406.90 \text{ kg}) / (2950 \text{ kg/m}^3) = 0.1379 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de vacíos} = (16) / (100) = 0.16 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agua} = (122.07) / (1000) = 0.122 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agregado grueso} = (1441.29) / (2540) = 0.5674 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria de volúmenes absolutos} = 0.98744 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para 1m³ de concreto permeable, restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad de la siguiente manera:

$$\text{Volumen abs. de agregado fino} = 1 - 0.98744 = 0.01256 \text{ m}^3$$

Finalmente, de la siguiente ecuación obtenemos el peso del agregado fino seco:

$$\text{Peso del ag. fino seco} = \text{Volumen absoluto de ag. fino} * (\text{Pe ag. fino})$$

Reemplazando valores se tiene:

$$\text{Peso del ag. fino seco} = 0.01256 \text{ m}^3 * 2610 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del ag. fino seco} = 32.79 \text{ kg/m}^3$$

e. Resumen de los pesos secos de los materiales por m³ de concreto permeable

Materiales de diseño:

Agua de diseño:	122.07	lt / m ³
Cemento:	406.90	kg / m ³
Agregado grueso:	1441.29	kg / m ³
Agregado fino:	32.79	kg / m ³
Total:	2003.05	kg / m ³

f. Corrección por humedad de los agregados

Materiales Húmedos:

Agua efectiva:	122.07 - (1441.29*(0.30-1.11) /100+ 32.79*(6.5-1.17) /100) = 132.00	lt / m ³
Cemento:	406.90	kg / m ³

$$\begin{aligned} \text{Agregado grueso:} & \quad 1441.29 \cdot (1+0.30) / 100 \\ & = 1445.6 \quad \text{kg / m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino:} & \quad 32.79 \cdot (1+6.5) / 100 \\ & = 34.92 \quad \text{kg / m}^3 \end{aligned}$$

Entonces se tiene:

Agua efectiva:	132.00	lt / m ³
Cemento:	406.90	kg / m ³
Agregado fino:	34.92	kg / m ³
Agregado grueso:	1445.61	kg / m ³
Total:	2019.43	kg/m ³

g. Proporcionamiento de materiales

Proporcionamiento en peso:

$$\frac{406.90}{406.90} : \frac{34.92}{406.90} : \frac{1445.61}{406.90} / \frac{132.00}{406.90} \times 42.5$$

$$1 \quad : 0.086 \quad : 3.553 \quad / \quad 13.79 \text{ lt/bolsa}$$

Proporcionamiento en volumen aparente:

Cemento:	9.57	pie ³
Ag. Fino:	0.72	pie ³
Ag. Grueso:	36.672	pie ³
Agua:	13.79	Lt/bolsa
1	: 0.075	: 3.830 / 13.79 lt/bolsa

h. Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño base IV

Cálculo de volumen para tres especímenes cilíndricos

Diámetro promedio $D = 0.153 \text{ m}$

Altura promedio $h = 0.302 \text{ m}$

Desperdicios = 1.07

N° de testigos = 3

$$\text{Volumen} = V = \pi D^2 x h x 1.07/4 x 3$$

Reemplazando valores se tiene:

$$V = 0.0178232 \text{ m}^3$$

Aproximando se tiene:

$$V = 0.02 \text{ m}^3$$

i. Materiales corregidos por humedad para tres especímenes (V = 0.02 m³)

Agua efectiva:	132.0 lt / m ³ *0.02	=	2.64 lt
Cemento:	406.90 kg / m ³ *0.02	=	8.14 kg
Agregado fino:	34.92 kg / m ³ *0.02	=	0.70 kg
Agregado grueso:	1445.61 kg / m ³ *0.02	=	28.91 kg
Total:			40.39 kg

j. Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento:	0	pulgadas
- Agua adicional:	0.150	lt
- Peso unitario (concreto fresco):	1993.48	kg/m ³

k. Rendimiento de la mezcla

- Rendimiento:

$$\frac{40.54 \text{ kg}}{1993.48 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020335537$$

l. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene

$$\text{Aporte de humedad superficial del ag. grueso} = 1441.29*0.02*(0.30-1.11) = - 0.2335$$

$$\text{Aporte de humedad superficial del ag. fino} = 32.79*0.02*(6.50-1.17) = 0.035$$

$$\text{Volumen abs. de cemento} = 8.14/ 2950 = 0.002759 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agua} = (2.79 - 0.2335 + 0.035) / 1000 = 0.00259 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agr. grueso} = (1441.29 * 0.02 - 0.2335) / 2540 = 0.01126 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agr. fino} = (32.79 * 0.02 + 0.035) / 2610 = 0.00024 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volumen Abs.} = 0.016845 \text{ m}^3$$

Por lo tanto,

para el DBIV se tiene:

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (0.020335537 - 0.016845) / 0.020335537 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = 17.17 \%$$

7.5.4. REAJUSTE DE DISEÑO BASE III

a. Nuevo contenido de agua

Obtenemos el contenido de agua de diseño, utilizada en tres especímenes:

$$\begin{aligned} \text{Agua de diseño} &= 2.65 + \\ & (32.79 * 0.02 * (6.5 - 1.17) / 100 + \\ & 1441.29 * 0.02 * (0.30 - 1.11) / 100) \end{aligned}$$

$$\text{Agua de diseño} = 2.45 \frac{\text{lt}}{\text{tanda}}$$

Agua de diseño para un metro cúbico de concreto:

$$\text{Nuevo contenido de agua de diseño} = \text{agua de diseño} / \text{rendimiento}$$

$$\text{Nuevo contenido de agua de diseño} = 2.45 / 0.020249396$$

$$\text{Agua} = 221.11 \text{ lt}$$

b. Nuevo contenido de cemento

Para mantener la relación agua – cemento igual a 0.30 se tiene lo siguiente:

$$\text{Cemento} = \text{Agua} / (a/c)$$

$$\text{Cemento} = 221.11 / 0.30$$

$$\text{Cemento} = 403.71 \text{ kg/m}^3$$

c. Nuevo contenido de agregado grueso

Se corrige el contenido de agregado grueso, para mejorar las propiedades reológicas de la mezcla, reduciendo en 10 % el valor inicial de b/b_0 igual a 0.93:

$$b/b_0 = 0.93 - 0.10 * (0.93)$$

$$b/b_0 = 0.84$$

Entonces, el nuevo contenido de agregado grueso:

$$\text{Peso Ag. grueso} = b/b_0 \times \text{Peso unitario seco compactado Ag. Grueso}$$

$$\text{Peso Ag. grueso} = 0.84 \times 1549.77 \text{ kg/m}^3$$

Peso Ag. grueso=1301.81kg

d. Nuevo contenido de agregado fino

El peso seco del agregado fino se calcula utilizando el método de volúmenes absolutos.

Por el método de volúmenes absolutos se tiene:

$$\text{Volumen abs. de cemento} = (403.71\text{kg}) / (2950 \text{ kg/m}^3) = 0.136852 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de vacíos} = (16) / (100) = 0.16 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agua} = (221.11) / (1000) = 0.121114 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agregado grueso} = (1301.81) / (2540) = 0.512522 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria de volúmenes absolutos} = 0.940488 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para 1m³ de concreto permeable restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad:

$$\text{Volumen abs. de agregado fino} = 1 - 0.940488 = 0.059512 \text{ m}^3$$

Finalmente, de la siguiente ecuación obtenemos el peso del agregado fino seco:

$$\text{Peso del ag. fino seco} = \text{Volumen absoluto de ag. fino} * (\text{Pe ag. fino})$$

Reemplazando se tiene:

$$\text{Peso del ag. fino seco} = 0.059512 \text{ m}^3 * 2610 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del ag. fino seco} = 155.33 \text{ kg}$$

e. Resumen de los pesos secos de los materiales por m³ de concreto permeable

Materiales de diseño:

Agua de diseño:	121.11	lt / m ³
Cemento:	403.71	kg / m ³
Agregado grueso:	1301.81	kg / m ³
Agregado fino:	155.33	kg / m ³
Total:	1981.96	kg / m ³

f. Corrección por humedad de los agregados

Materiales Húmedos:

Agua efectiva:	121.11 - $(1301.81 * (0.30 - 1.11) / 100 +$ $155.33 * (6.5 - 1.17) / 100)$ = 123.38	lt / m ³
Cemento:	403.71	kg / m ³
Agregado grueso:	$1301.81 * (1 + 0.30) / 100$ = 1305.71	kg / m ³
Agregado fino:	$155.33 * (1 + 6.5) / 100$ = 165.42	kg / m ³

Entonces se tiene:

Agua efectiva:	121.11	lt / m ³
Cemento:	403.71	kg / m ³
Agregado fino:	165.42	kg / m ³
Agregado grueso:	1305.71	kg / m ³
Total:	1998.23	kg/m ³

g. Proporcionamiento de materiales

Proporcionamiento en peso:

$$\frac{403.71}{403.71} : \frac{123.11}{403.71} : \frac{1305.71}{403.71} / \frac{165.42}{403.71} \times 42.5$$

$$1 : 0.410 : 3.234 / 12.99 \text{ lt/bolsa}$$

Proporcionamiento en volumen aparente:

$$\text{Cemento:} \quad 9.50 \quad \text{pie}^3$$

$$\text{Ag. Fino:} \quad 3.39 \quad \text{pie}^3$$

$$\text{Ag. Grueso:} \quad 33.12 \quad \text{pie}^3$$

$$\text{Agua:} \quad 12.99 \quad \text{Lt/bolsa}$$

$$1 : 0.357 : 3.487 / 12.99 \text{ lt/bolsa}$$

h. Mezcla de prueba en el laboratorio de reajuste de diseño base III

Cálculo de volumen para tres especímenes cilíndricos

$$\text{Diámetro promedio } D = 0.153 \text{ m}$$

$$\text{Altura promedio } h = 0.302 \text{ m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N}^\circ \text{ de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = V = \pi D^2 \times h \times 1.07 / 4 \times 3$$

$$\text{Reemplazando tenemos: } 0.0178232 \text{ m}^3$$

$$\text{Aproximando } V = 0.02 \text{ m}^3$$

i. Materiales corregidos por humedad para tres especímenes ($V = 0.02 \text{ m}^3$)

$$\text{Agua efectiva:} \quad 123.38 \text{ lt} / \text{m}^3 \times 0.02 \quad = \quad 2.47 \text{ lt}$$

$$\text{Cemento:} \quad 403.71 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.02 \quad = \quad 7.93 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado fino:} \quad 165.42 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.02 \quad = \quad 3.31 \text{ kg}$$

$$\text{Agregado grueso:} \quad 1305.71 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0.02 \quad = \quad 26.11 \text{ kg}$$

$$\text{Total:} \quad 39.96 \text{ kg}$$

j. Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento: 0 pulgadas
- Agua adicional: 0.000 lt
- Peso unitario (concreto fresco): 1983.31 kg/m³

k. Rendimiento de la mezcla

- Rendimiento:

$$\frac{39.96 \text{ kg}}{1983.31 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020150456$$

l. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene:

$$\text{Volumen abs. de cemento} = 8.07 / 2950 = 0.002737 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agua} = (2.47 - 0.2109 + 0.1656) / 1000 = 0.002422 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agr. grueso} = (1301.81 * 0.02 - 0.2109) / 2540 = 0.010167 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agr. fino} = (155.33 * 0.02 + 0.1656) / 2610 = 0.001254 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volumen Abs.} = 0.0165804114 \text{ m}^3$$

Por lo tanto,

$$\text{Porcentaje de vacíos} = (0.020150456 - 0.0165804114) / 0.020150456 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos} = 17.72 \%$$

7.5.5. REAJUSTE DE DISEÑO BASE III + ADITIVO PLASTIFICANTE

a. Materiales corregidos por humedad para tres especímenes ($V = 0.02 \text{ m}^3$)

Cemento:	$403.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	8.07 kg
Agregado fino:	$165.42 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	3.31 kg
Agregado grueso:	$1305.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	26.11 kg
Agua efectiva:	$123.38 \text{ lt} / \text{m}^3 * 0.02 - 0.05$	=	2.42 lt/tanda
Aditivo AD1:	$250 \text{ ml} / \text{bolsa} * 9.75 * 0.02 * / 1000$	=	0.05 lt/tanda
Total, AD1:			39.96 kg
Cemento:	$403.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	8.07 kg
Agregado fino:	$165.42 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	3.31 kg
Agregado grueso:	$1305.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	26.11 kg
Agua efectiva:	$123.38 \text{ lt} / \text{m}^3 * 0.02 - 0.06$	=	2.41 lt/tanda
Aditivo AD2:	$300 \text{ ml} / \text{bolsa} * 9.75 * 0.02 * / 1000$	=	0.06 lt/tanda
Total, AD2:			39.97 kg
Cemento:	$403.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	8.07 kg
Agregado fino:	$165.42 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	3.31 kg
Agregado grueso:	$1305.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	26.11 kg
Agua efectiva:	$123.38 \text{ lt} / \text{m}^3 * 0.02 - 0.07$	=	2.40 lt/tanda
Aditivo AD3:	$350 \text{ ml} / \text{bolsa} * 9.75 * 0.02 * / 1000$	=	0.07 lt/tanda
Total, AD3:			39.98 kg

b. Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento: 0 pulgadas
- Agua adicional: 0.000 lt
- Peso unitario (concreto fresco) RDBIII-AD1: 1993.54 kg/m³
- Peso unitario (concreto fresco) RDBIII-AD2: 1997.43 kg/m³
- Peso unitario (concreto fresco) RDBIII-AD3: 1998.21 kg/m³

c. Rendimiento de la mezcla

- Rendimiento RDBIII-AD1:

$$\frac{39.96 \text{ kg}}{1993.54 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020047001$$

- Rendimiento RDBIII-AD2:

$$\frac{39.97 \text{ kg}}{1997.43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020012941$$

- Rendimiento RDBIII-AD3:

$$\frac{39.98 \text{ kg}}{1998.21 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020010199$$

d. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene

$$\text{Volumen abs. de cemento} = 8.07 / 2950 = 0.002687 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agua} = 2.35 / 1000 = 0.002364 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agr. grueso} = 25.8 / 2540 = 0.010281 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agr. fino} = 3.27 / 2610 = 0.001368 \text{ m}^3$$

$$\text{Aditivo AD1} = 0.05 / 1083.105 = 0.000043 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volumen Abs. AD1} = 0.0165453 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de cemento} = 8.07 / 2950 = 0.002687 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agua} = 2.35 / 1000 = 0.002364 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. agr. grueso} = 25.8 / 2540 = 0.010281 \text{ m}^3$$

Volumen abs. de agr. fino =	3.27/ 2610	=	0.001368 m ³
Aditivo AD2=	0.06 / 1083.105	=	0.000052 m ³
Total, de volumen Abs. AD2		=	0.0165445 m ³

Volumen abs. de cemento =	8.07/ 2950	=	0.002687 m ³
Volumen abs. agua =	2.35/ 1000	=	0.002364 m ³
Volumen abs. agr. grueso =	25.8/ 2540	=	0.010281 m ³
Volumen abs. de agr. fino =	3.27/ 2610	=	0.001368 m ³
Aditivo AD3=	0.07 / 1083.105	=	0.000060 m ³
Total, de volumen Abs. AD3		=	0.0165438 m ³

Por lo tanto,

para el RDBIII-AD1 se tiene:

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD1} = (0.0200470 - 0.0167429) / 0.0200470 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD1} = 17.47 \%$$

para el RDBIII-AD2 se tiene:

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD2} = (0.0200129 - 0.0165445) / 0.0200129 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD2} = 17.33 \%$$

para el RDBIII-AD3 se tiene:

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD3} = (0.0200102 - 0.0165438) / 0.0200102 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD3} = 17.32 \%$$

7.5.6. REAJUSTE DE DISEÑO BASE III + ADITIVO PLASTIFICANTE + FIBRA DE POLIPROPILENO

a. Materiales corregidos por humedad para tres especímenes ($V = 0.02 \text{ m}^3$)

Cemento:	$403.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	8.07 kg
Agregado fino:	$165.42 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	3.31 kg
Agregado grueso:	$1305.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	26.11 kg
Agua efectiva:	$123.38 \text{ lt} / \text{m}^3 * 0.02 - 0.05$	=	2.42 lt/tanda
Aditivo AD1:	$250\text{ml}/\text{bolsa} * 9.75 * 0.02 * / 1000$	=	0.05 lt/tanda
Fibra FPP1:	$300\text{gr}/\text{m}^3 * 0.02 * / 1000$	=	0.006 kg/tanda
Total, AD1-FPP1:			39.971 kg

Cemento:	$403.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	8.07 kg
Agregado fino:	$165.42 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	3.31 kg
Agregado grueso:	$1305.71 \text{ kg} / \text{m}^3 * 0.02$	=	26.11 kg
Agua efectiva:	$123.38 \text{ lt} / \text{m}^3 * 0.02 - 0.05$	=	2.42 lt/tanda
Aditivo AD1:	$250\text{ml}/\text{bolsa} * 9.75 * 0.02 * / 1000$	=	0.05 lt/tanda
Fibra, FPP2:	$600\text{gr}/\text{m}^3 * 0.02 * / 1000$	=	0.012 kg/tanda
Total, AD1-FPP2:			39.977 kg

b. Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento:	0	pulgadas
- Agua adicional:	0.000	lt
- Peso unitario (concreto fresco) RDBIII-AD1:	1993.93	kg/m^3
- Peso unitario (concreto fresco) RDBIII-AD2:	1996.78	kg/m^3

c. Rendimiento de la mezcla

- Rendimiento RDBII-AD1-FPP1:

$$\frac{39.971 \text{ kg}}{1993.93 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020046104$$

- Rendimiento RDBIII-AD1-FPP2:

$$\frac{39.977 \text{ kg}}{1996.78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020020508$$

d. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene

Volumen abs. de cemento =	8.07 / 2950	=	0.002687 m ³
Volumen abs. agua =	2.35 / 1000	=	0.002364 m ³
Volumen abs. agr. grueso =	25.8 / 2540	=	0.010281 m ³
Volumen abs. de agr. fino =	3.27 / 2610	=	0.001368 m ³
Aditivo AD1=	0.05 / 1083.105	=	0.000043 m ³
Fibra, FPP1 =	0.006 / 910	=	0.000007 m ³
Total, de volumen Abs.		=	0.0165519 m ³

Volumen abs. de cemento =	8.07 / 2950	=	0.002687 m ³
Volumen abs. agua =	2.35 / 1000	=	0.002364 m ³
Volumen abs. agr. grueso =	25.8 / 2540	=	0.010281 m ³
Volumen abs. de agr. fino =	3.27 / 2610	=	0.001368 m ³
Aditivo AD1=	0.05 / 1083.105	=	0.000043 m ³
Fibra, FPP2 =	0.012 / 910	=	0.000013 m ³
Total, de volumen Abs.		=	0.0165585 m ³

Por lo tanto,

para el RDBIII-AD1-FPP1 se tiene:

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD1-FPP1} = (0.0200461 - 0.0165519) / 0.0200461 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD1-FPP1} = 17.43 \%$$

para el RDBIII-AD1-FPP2 se tiene:

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD1-FPP2} = (0.020020508 - 0.0165585) / 0.020020508 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos RDBIII-AD1-FPP2} = 17.29 \%$$

7.5.7. DESARROLLO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE REAJUSTE DE DISEÑO BASE III + ADITIVO PLASTIFICANTE + FIBRA DE POLIPROPILENO

a. Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento: 0 pulgadas
- Agua adicional: 0.000 lt
- Peso unitario (concreto fresco) RDBIII-AD1-FPP1-(6), ensayados a los 7 días:
1996.87 kg/m³
- Peso unitario (concreto fresco) RDBIII-AD1-FPP1-(6), ensayados a los 14 días:
1997.56 kg/m³
- Peso unitario (concreto fresco) RDBIII-AD1-FPP1-(6), ensayados a los 28 días:
1994.23 kg/m³

b. Rendimiento de la mezcla

- Rendimiento RDBII-AD1-FPP1-(6) ensayados a los 7 días:

$$\frac{39.971 \text{ kg}}{1996.87 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.02001655$$

- Rendimiento RDBII-AD1-FPP1-(6) ensayados a los 14 días:

$$\frac{39.971 \text{ kg}}{1997.56 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020009668$$

- Rendimiento RDBII-AD1-FPP1-(6) ensayados a los 28 días:

$$\frac{39.971 \text{ kg}}{1994.23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.020043103$$

c. Contenido de vacíos:

Promedio de 06 especímenes ensayados a los 7 días:

- Porcentaje de vacíos: 17.31 %

Promedio de 06 especímenes ensayados a los 14 días:

- Porcentaje de vacíos: 17.28 %

Promedio de 06 especímenes ensayados a los 28 días:

- Porcentaje de vacíos: 17.42 %

7.6. ANEXO VI. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN. NTP 339.034

7.6.1. ESFUERZO A COMPRESIÓN Y DEFORMACIÓN

Código de Mezcla: III - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)
 Cemento: MS
 Fecha de Elaboración: 29/10/2016 Edad: 28 días
 Fecha de Rotura: 26/11/2016
 Resistencia característica : 210 kg/cm²

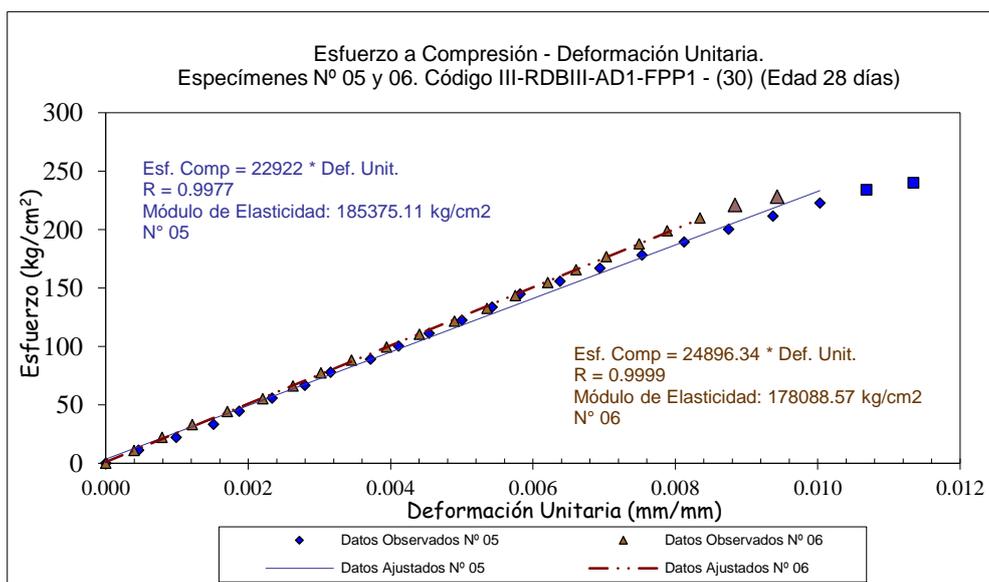
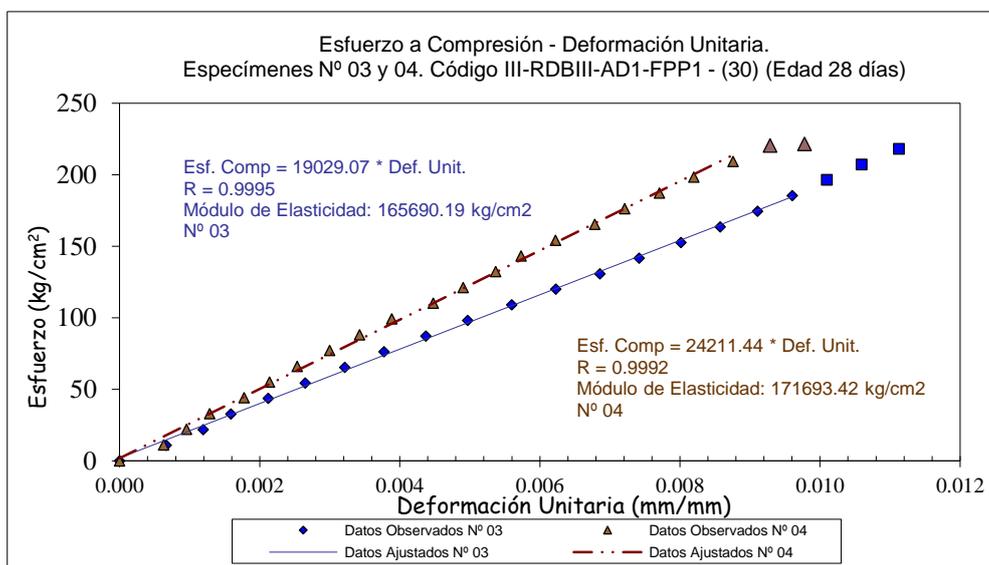
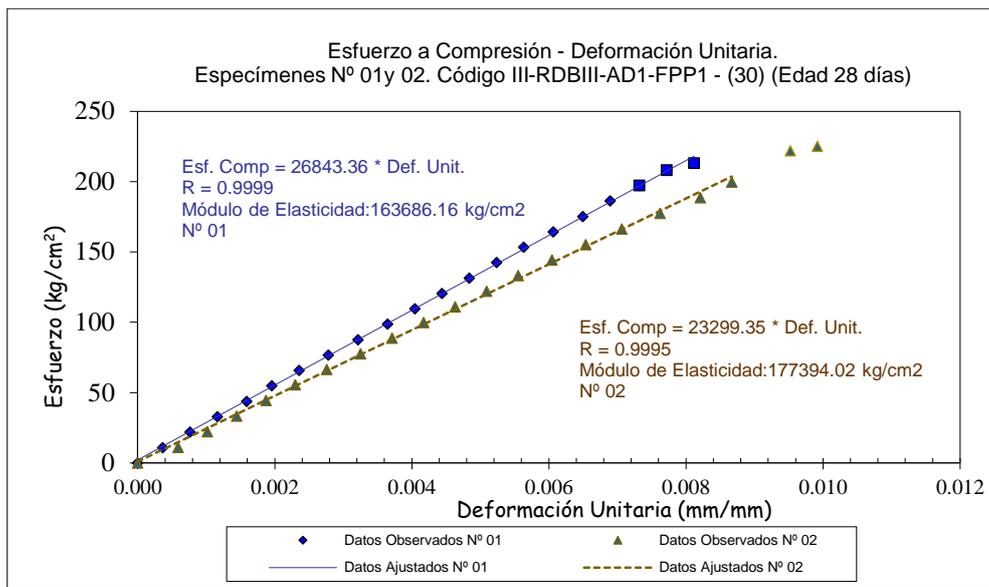
Especimen N°.	Esf. de Rotura (kg/cm ²)	Def. Unit. de Rotura	Esf. en Lím. Plást. (kg/cm ²)	Def. en Lím. Plástico
1	213.08	0.0081	196.57	0.0073
2	225.22	0.0099	211.95	0.0091
3	218.14	0.0111	182.73	0.0096
4	221.54	0.0098	212.06	0.0088
5	240.04	0.0113	229.91	0.0100
6	228.20	0.0094	207.74	0.0083
7	227.51	0.0086	208.39	0.0076
8	226.54	0.0101	203.27	0.0083
9	237.04	0.0103	225.01	0.0095
10	227.85	0.0100	215.16	0.0085
11	229.20	0.0100	217.18	0.0086
12	225.99	0.0097	209.69	0.0085
13	232.74	0.0108	207.73	0.0096
14	217.65	0.0099	203.81	0.0085
15	228.70	0.0102	211.55	0.0089
16	229.96	0.0109	217.34	0.0095
17	225.22	0.0093	212.90	0.0078
18	230.52	0.0094	212.89	0.0080
19	236.80	0.0097	222.92	0.0086
20	229.71	0.0085	210.46	0.0077
21	230.35	0.0085	209.67	0.0077
22	222.31	0.0105	214.85	0.0091
23	235.31	0.0104	222.72	0.0090
24	231.70	0.0087	224.18	0.0075
25	232.49	0.0092	208.18	0.0084
26	229.00	0.0097	212.54	0.0086
27	221.50	0.0091	193.41	0.0077
28	236.07	0.0103	230.40	0.0091
29	221.74	0.0078	198.30	0.0066
30	221.31	0.0096	204.82	0.0083

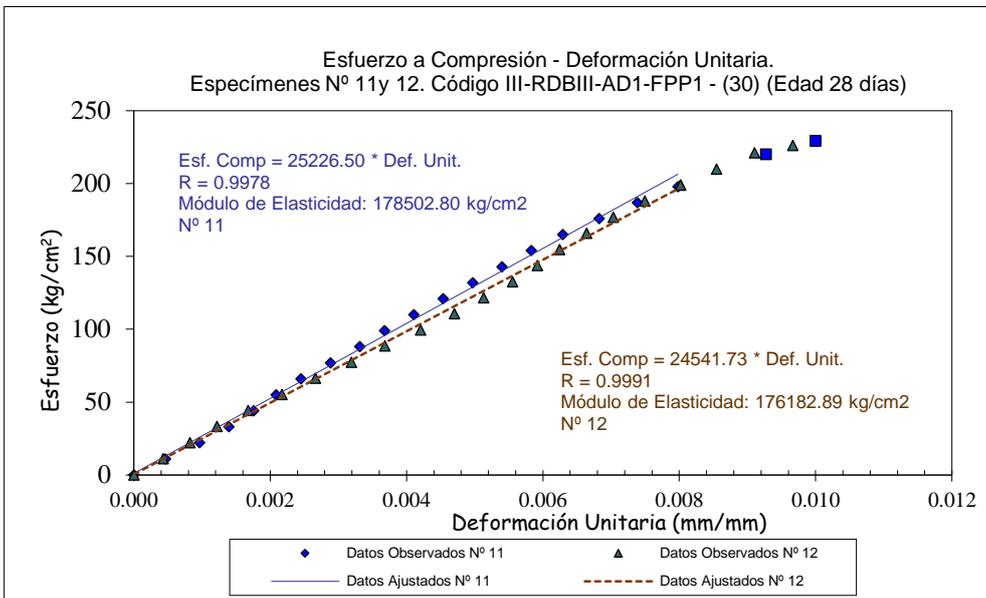
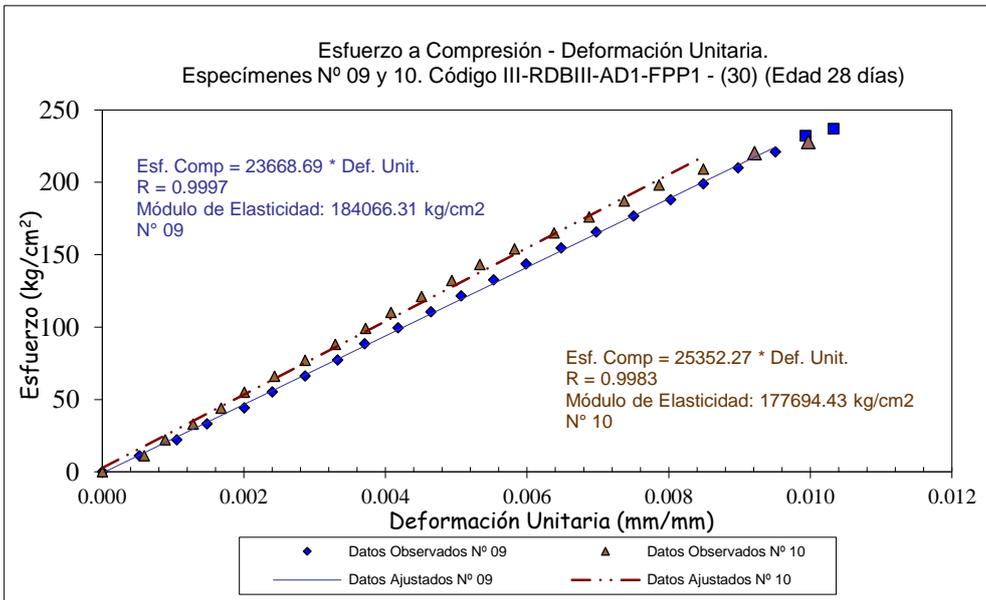
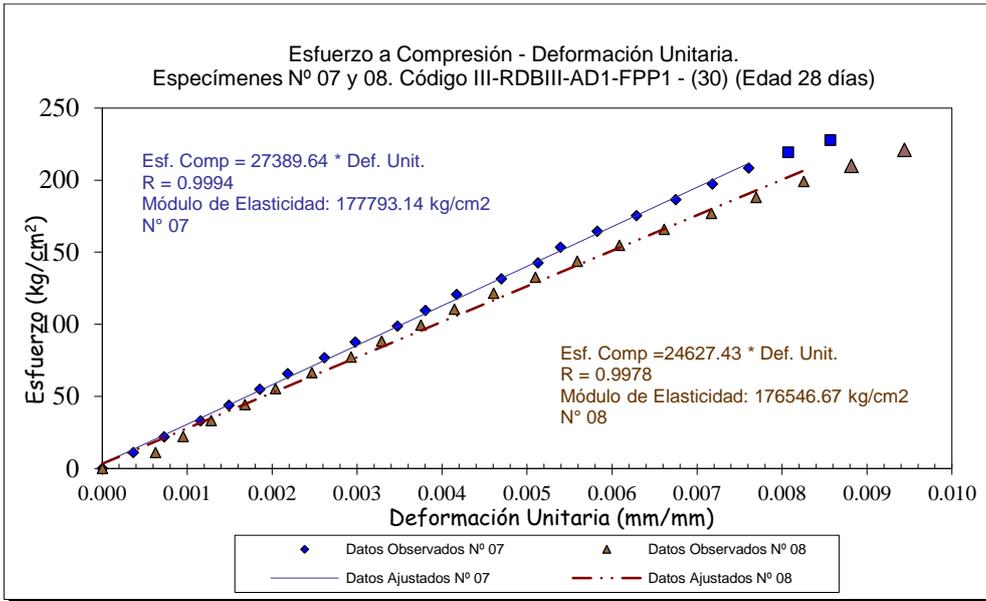
ESF. ROTURA PROMEDIO (kg/cm²) 227.78

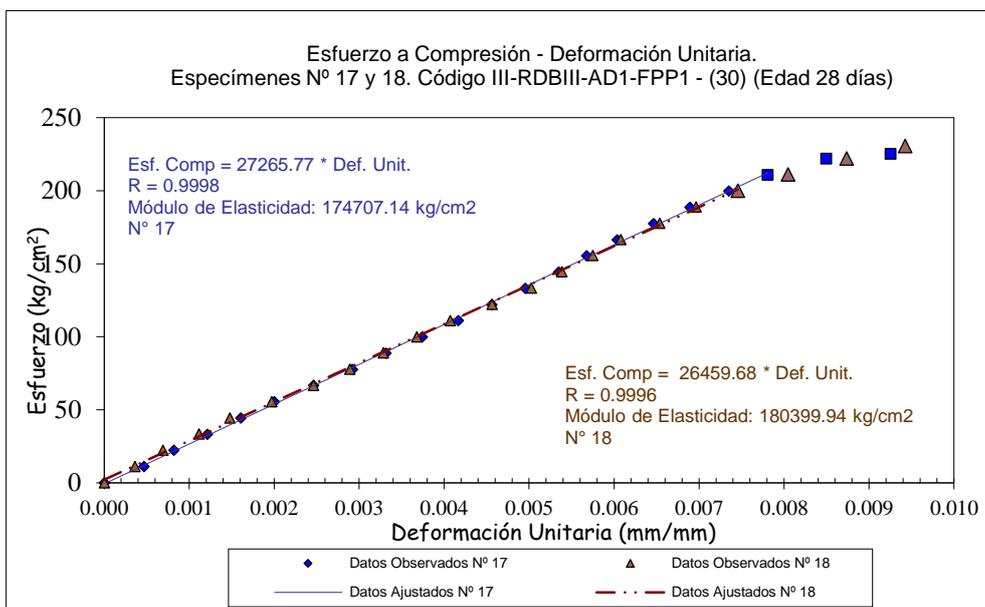
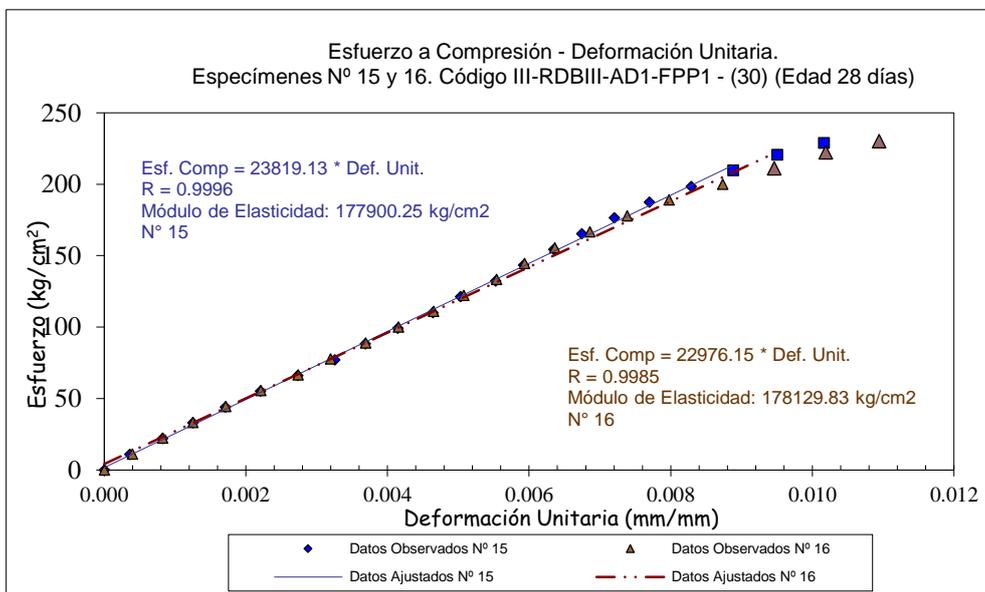
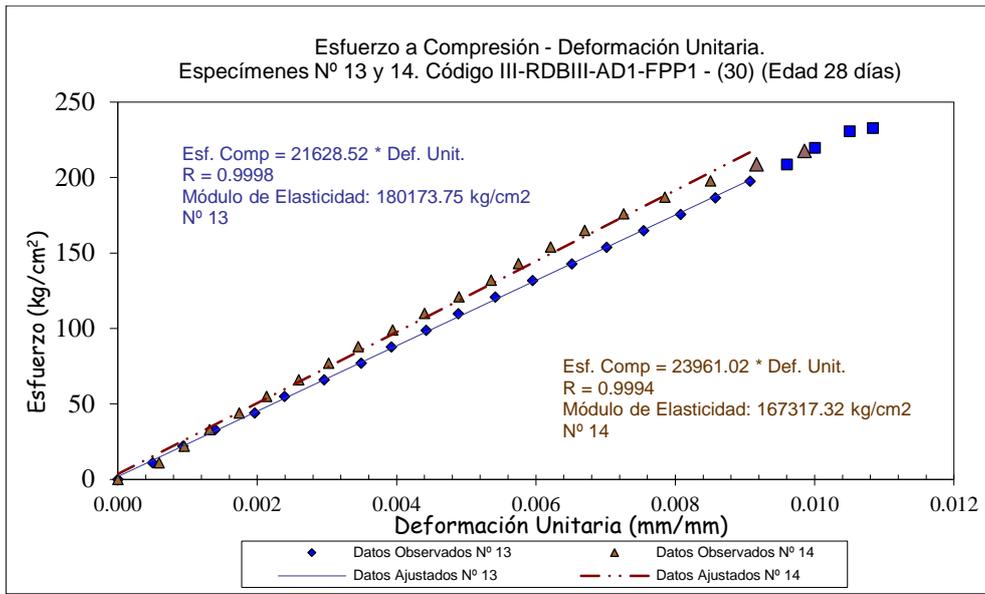
DESVIACIÓN ESTÁNDAR: s (kg/cm²) 6.29

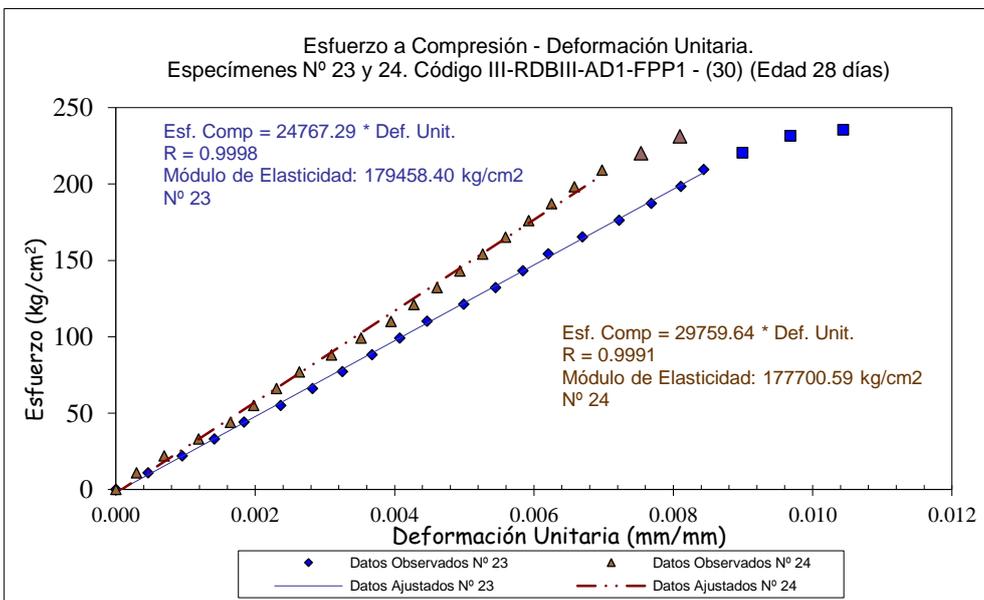
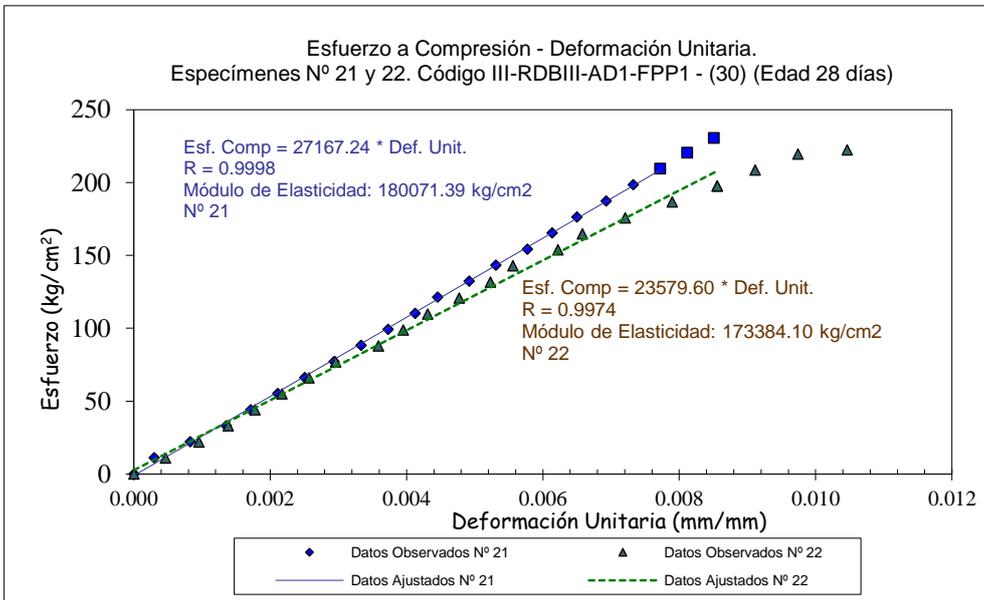
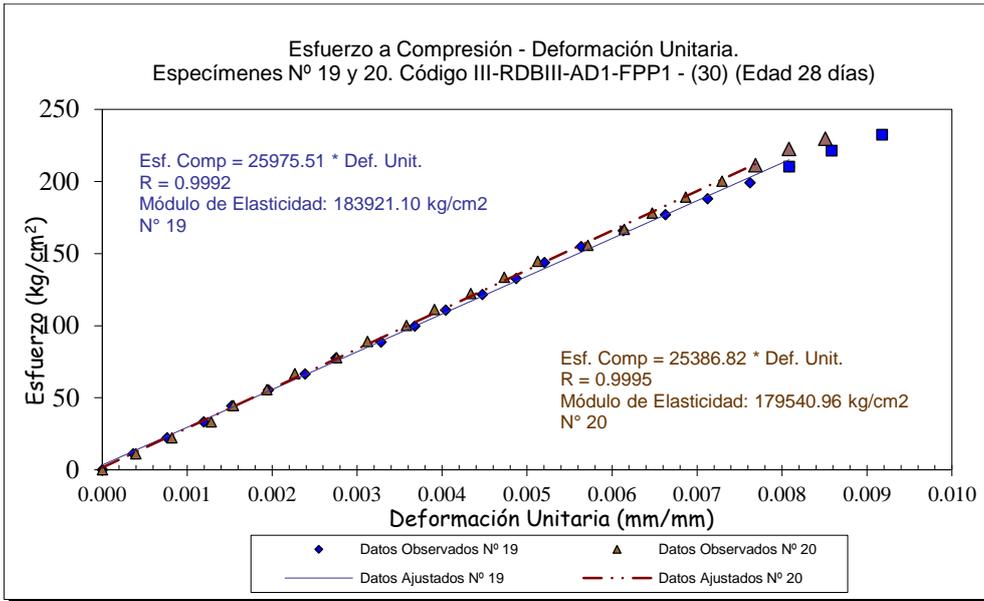
COEFICIENTE DE VARIACIÓN: CV (%) 2.76

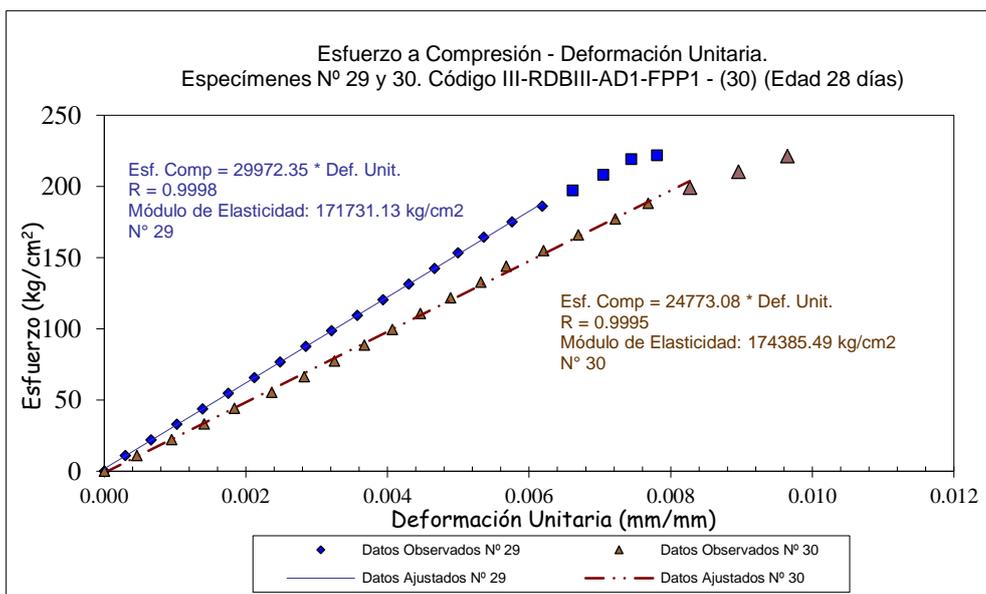
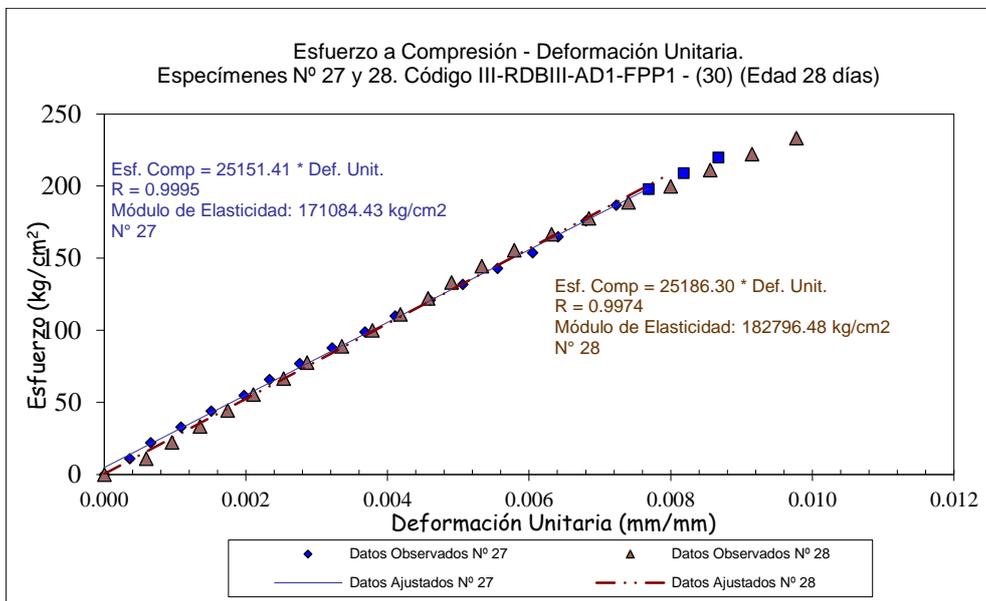
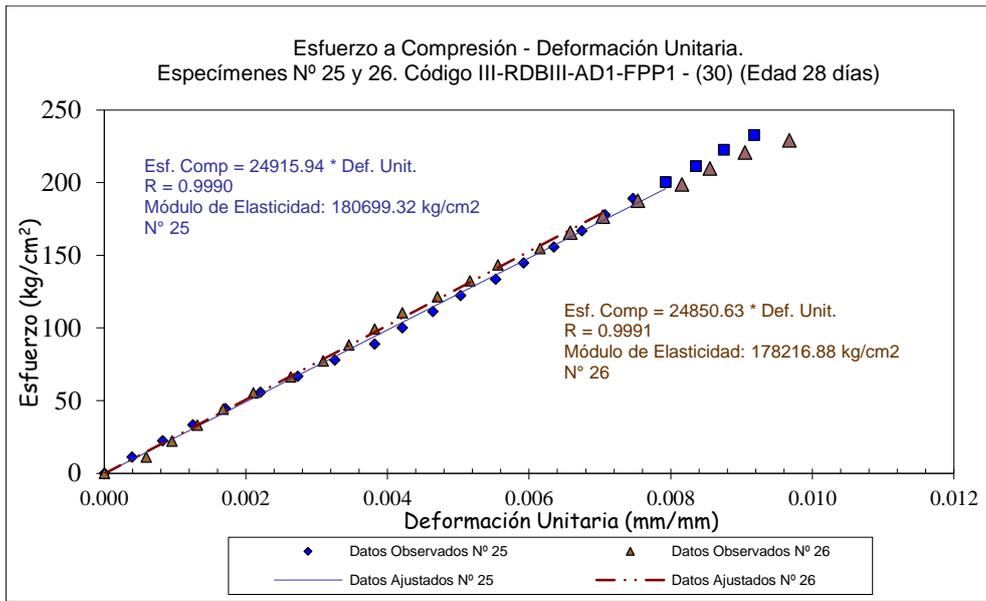
7.6.2. GRÁFICAS DE ESFUERZO A COMPRESIÓN Y DEFORMACIÓN











7.7. ANEXO VII. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

7.7.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO – ENSAYO A COMPRESIÓN

Número de Intervalos de Clase (M): $5 \leq M \leq 20$

$M = 1 + 3.32 * \log_{10} N = 1 + 3.32 * \log_{10} 30 = 5.90$; Optamos por: $M = 7$

Tabla N° 59. Datos estadísticos de esfuerzo a la compresión y deformación unitaria.

DATOS ESTADÍSTICOS DE ESFUERZO A LA COMPRESIÓN		
Código:	Esfuerzo a la compresión	Deformación unitaria
IIII-RDBIII-AD1-FPP1-(30)	kg/cm ²	mm/mm
Número de Datos:	30	30
Promedio:	227.78	0.0097
Desviación Estándar:	6.29	0.00088
Coef. de Variación:	2.76 %	9.07 %
Mínimo:	213.08	0.0078
Máximo:	240.04	0.0113
Rango (R):	26.96	0.0035
Ancho de Intervalo:	4.00	0.0006

7.7.1.7. Tablas de frecuencias e histogramas

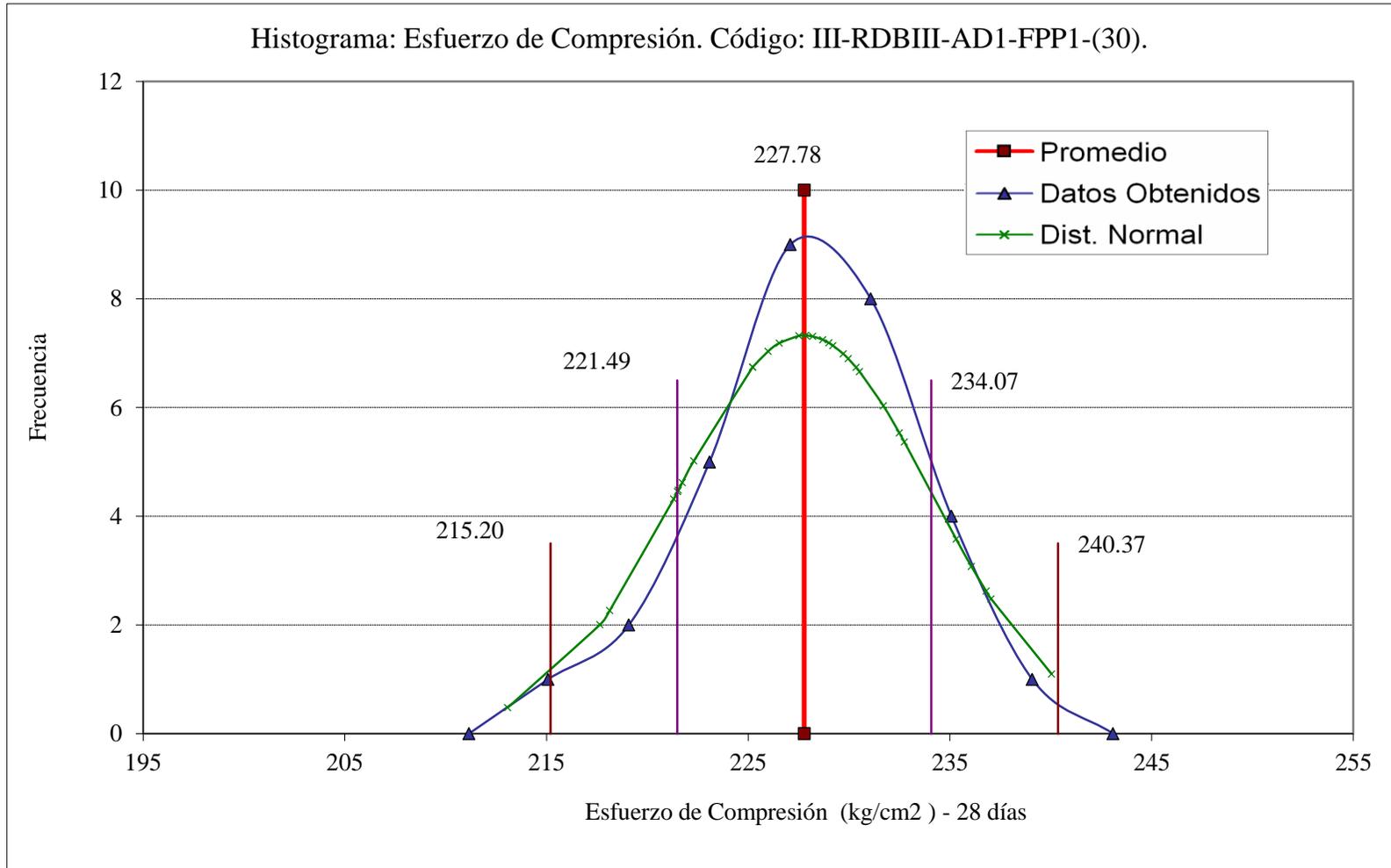
Tabla N° 60. Frecuencia de esfuerzo a la compresión.

FRECUENCIA DE ESFUERZO A LA COMPRESIÓN						
Código: IIII - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)						
Intervalo de clase	Límite inferior kg/cm ²	Límite superior kg/cm ²	Marca de clase	Frecuencia absoluta N=30	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
1	213.08	217.08	215.08	1	0.033	0.033
2	217.08	221.08	219.08	2	0.067	0.100
3	221.08	225.08	223.08	5	0.167	0.267
4	225.08	229.08	227.08	9	0.300	0.567
5	229.08	233.08	231.08	8	0.267	0.833
6	233.08	237.08	235.08	4	0.133	0.967
7	237.08	241.08	239.08	1	0.033	1.000

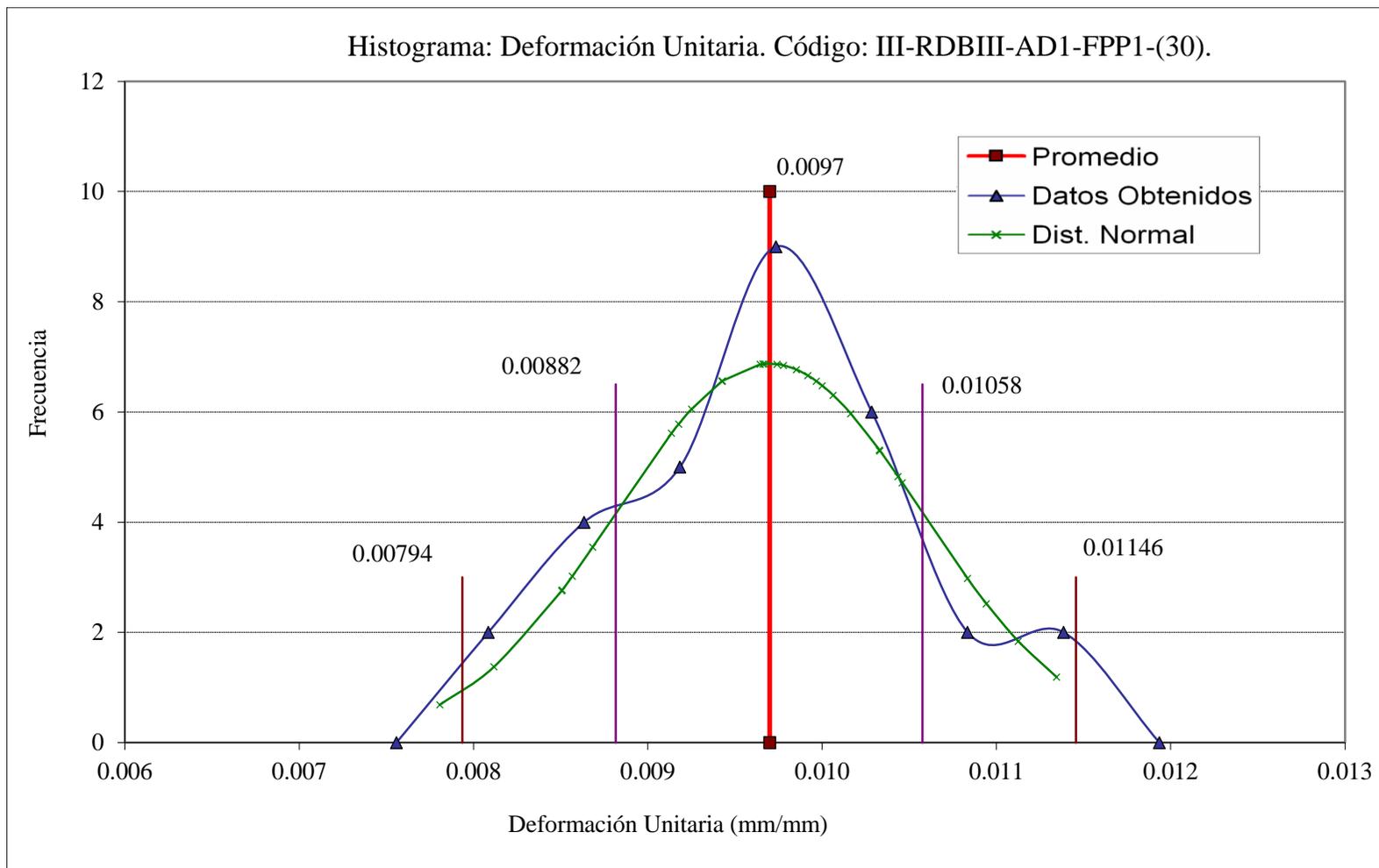
Tabla N° 61. Frecuencia de Deformación Unitaria.

FRECUENCIA DE DEFORMACIÓN UNITARIA						
Código: IIII - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)						
Intervalo de clase	Límite inferior	Límite superior	Marca de clase	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
	mm	mm		N=30		
1	0.0078	0.0084	0.0081	2	0.067	0.067
2	0.0084	0.0089	0.0086	4	0.133	0.200
3	0.0089	0.0095	0.0092	5	0.167	0.367
4	0.0095	0.0100	0.0097	9	0.300	0.667
5	0.0100	0.0106	0.0103	6	0.200	0.867
6	0.0106	0.0111	0.0108	2	0.067	0.933
7	0.0111	0.0117	0.0114	2	0.067	1.000

Gráfica N° 18 . Histograma: Esfuerzo de Compresión.



Gráfica N° 19 . Histograma: Deformación Unitaria.



7.7.1.8. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov a la distribución normal

Tabla N° 62. Prueba de bondad de ajuste del esfuerzo a la compresión.

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV					
Esfuerzo de Compresión. Código: III-RDBII-AD1-FPP1-(30)					
N°	Valor Ord. (kg/cm ²)	Frec. Rel. Acumulada	Valor típico	Probabilidad Acumulada	Diferencia
	Xi	Sn (Xi)	Zi	F ₀ (xi)	FX (x)-Sn (x)
1	213.08	0.03	-2.336	0.0097	-0.0236
2	217.65	0.07	-1.610	0.0537	-0.0130
3	218.14	0.10	-1.532	0.0627	-0.0373
4	221.31	0.13	-1.028	0.1519	0.0186
5	221.50	0.17	-0.998	0.1591	-0.0076
6	221.54	0.20	-0.992	0.1606	-0.0394
7	221.74	0.23	-0.960	0.1685	-0.0648
8	222.31	0.27	-0.869	0.1923	-0.0744
9	225.22	0.30	-0.407	0.3420	0.0420
10	225.22	0.33	-0.407	0.3420	0.0087
11	225.99	0.37	-0.285	0.3880	0.0213
12	226.54	0.40	-0.197	0.4218	0.0218
13	227.51	0.43	-0.043	0.4828	0.0495
14	227.85	0.47	0.011	0.5044	0.0377
15	228.20	0.50	0.067	0.5265	0.0265
16	228.70	0.53	0.146	0.5581	0.0247
17	229.00	0.57	0.194	0.5768	0.0101
18	229.20	0.60	0.226	0.5892	-0.0108
19	229.71	0.63	0.307	0.6204	-0.0129
20	229.96	0.67	0.346	0.6354	-0.0312
21	230.35	0.70	0.408	0.6585	-0.0415
22	230.52	0.73	0.435	0.6683	-0.0650
23	231.70	0.77	0.623	0.7333	-0.0334
24	232.49	0.80	0.748	0.7729	-0.0271
25	232.74	0.83	0.788	0.7847	-0.0487
26	235.31	0.87	1.196	0.8842	0.0176
27	236.07	0.90	1.317	0.9061	0.0061
28	236.80	0.93	1.433	0.9241	-0.0092
29	237.04	0.97	1.471	0.9294	-0.0373
30	240.04	1.00	1.948	0.9743	-0.0257

Tabla N° 63. Valor crítico para la prueba de Kolmogorov. Esfuerzo a compresión.

Número de Datos (N):	30	
Parámetro Normal (Media):	227.781 kg/cm ²	
Desviación Estándar:	6.29 kg/cm ²	
Máxima diferencia entre extremos	Absoluto	0.0744
	Positivo	0.0495
	Negativo	-0.0744

El valor crítico para la prueba de Kolmogorov - Smirnov sobre bondad de ajuste para un número de valores $N=30$ y con el nivel de significancia al 5% es de 0.24170 ($D_{maxp}(0.05, 30) = 0.24$). La máxima diferencia obtenida es de 0.0744 por tanto se afirma que los valores de resistencia de compresión se ajustan a una Distribución Normal.

Tabla N° 64. Prueba de bondad de ajuste de Deformación Unitaria.

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV					
Deformación Unitaria. Código: III-RDBII-AD1-FPP1-(30)					
N°	Valor Ord. (mm)	Frec. Rel. Acumulada	Valor típico	Probabilidad Acumulada	Diferencia
	X_i	$S_n(X_i)$	Z_i	$F_0(x_i)$	$F_X(x) - S_n(x)$
1	0.0078	0.03	-2.156	0.0155	-0.0178
2	0.0081	0.07	-1.801	0.0359	-0.0308
3	0.0085	0.10	-1.358	0.0872	-0.0128
4	0.0085	0.13	-1.354	0.0878	-0.0455
5	0.0086	0.17	-1.288	0.0989	-0.0678
6	0.0087	0.20	-1.155	0.1241	-0.0759
7	0.0091	0.23	-0.639	0.2613	0.0279
8	0.0092	0.27	-0.592	0.2771	0.0104
9	0.0093	0.30	-0.507	0.3062	0.0062
10	0.0094	0.33	-0.309	0.3787	0.0453
11	0.0094	0.37	-0.305	0.3800	0.0134
12	0.0096	0.40	-0.057	0.4771	0.0771
13	0.0097	0.43	-0.039	0.4843	0.0510
14	0.0097	0.47	-0.028	0.4886	0.0220
15	0.0097	0.50	0.052	0.5207	0.0207
16	0.0098	0.53	0.095	0.5379	0.0046
17	0.0099	0.57	0.178	0.5708	0.0041
18	0.0099	0.60	0.253	0.6000	0.0000
19	0.0100	0.63	0.309	0.6215	-0.0118
20	0.0100	0.67	0.347	0.6357	-0.0310
21	0.0101	0.70	0.418	0.6621	-0.0379
22	0.0102	0.73	0.535	0.7036	-0.0298
23	0.0103	0.77	0.722	0.7650	-0.0017
24	0.0103	0.80	0.726	0.7662	-0.0338
25	0.0104	0.83	0.845	0.8010	-0.0324
26	0.0105	0.87	0.873	0.8085	-0.0581
27	0.0108	0.90	1.299	0.9030	0.0030
28	0.0109	0.93	1.423	0.9226	-0.0107
29	0.0111	0.97	1.632	0.9486	-0.0180
30	0.0113	1.00	1.882	0.9701	-0.0299

Tabla N° 65. Valor crítico para la prueba de Kolmogorov. Deformación unitaria.

Número de Datos (N):	30	
Parámetros Normal (Media):	0.0097 mm	
Desviación. Estándar:	0.00088 mm	
Máxima diferencia entre extremos	Absoluto	0.0771
	Positivo	0.0771
	Negativo	-0.0759

El valor crítico para un número de valores $N=30$ y con el nivel de significancia al 5% es de 0.24, $D_{maxp}(0.05, 30) = 0.24$. La máxima diferencia obtenida es de 0.0771 por tanto se afirma que los valores de Esfuerzo de Compresión se ajustan a una Distribución Normal.

7.7.1.9. Distribución T de Student

Tabla N° 66. Intervalo del 95% de confianza para la media. Resistencia a compresión.

PRUEBA T – STUDENT.	
Resistencia a la Compresión	
Código: III -RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)	
Número de Datos (N):	30
Parámetros Normal (Media):	227.78 kg/cm ²
Desviación estándar:	6.29 kg/cm ²
$t_{29,0.025}$	2.04523
Error Stand Desv.	1.14887
PRUEBA DE VALOR = 0	
t:	198.2659
Grados de Libertad:	29
Sig. (2-colas):	0.000
Diferencia Media:	227.7810 kg/cm ²
Intervalo de confianza de 95%:	Inferior: 225.43 kg/cm ²
	Superior: 230.13 kg/cm ²

Tabla N° 67. Intervalo del 95% de confianza para la media. Deformación unitaria.

PRUEBA T – STUDENT.	
DEFORMACIÓN UNITARIA	
III -RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)	
Número de Datos (N):	30
Parámetros Normal (Media):	0.0097 mm
Desviación. Estándar:	0.00088 mm
$t_{29,0.025}$	2.04523
Error Stand Desv.	0.00016
PRUEBA DE VALOR = 0	
t:	60.6108
Grados de Libertad:	29
Sig. (2-colas):	0.000
Diferencia Media:	0.0097 mm
Intervalo de Confianza de 95%:	Inferior: 0.0094 mm
	Superior: 0.0100 mm

7.7.1.10. Control de calidad del proceso productivo

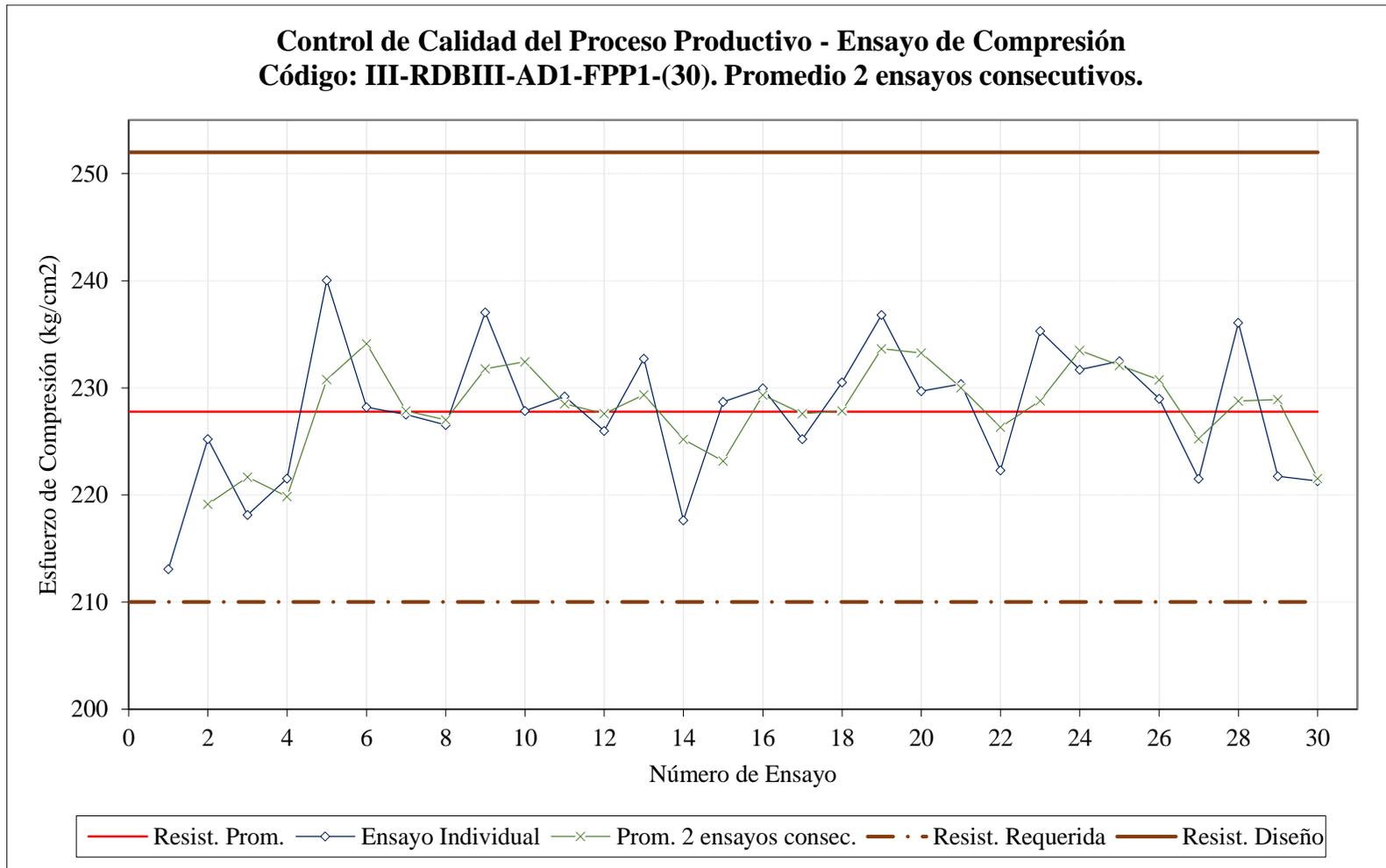
Tabla N° 68. Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Esfuerzo a Compresión.

PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
Código: III - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)				
Nº de Especimen	F'c. (Kg/cm2)	Prom. de 2	Prom. de 3	Prom. de 5
1	213.08			
2	225.22	219.15		
3	218.14	221.68	218.81	
4	221.54	219.84	221.63	
5	240.04	230.79	226.57	223.60
6	228.20	234.12	229.93	226.63
7	227.51	227.86	231.92	227.09
8	226.54	227.03	227.42	228.77
9	237.04	231.79	230.36	231.87
10	227.85	232.45	230.48	229.43
11	229.20	228.53	231.36	229.63
12	225.99	227.60	227.68	229.32
13	232.74	229.37	229.31	230.56
14	217.65	225.20	225.46	226.69
15	228.70	223.18	226.36	226.86
16	229.96	229.33	225.44	227.01
17	225.22	227.59	227.96	226.85
18	230.52	227.87	228.57	226.41
19	236.80	233.66	230.85	230.24
20	229.71	233.26	232.34	230.44
21	230.35	230.03	232.29	230.52
22	222.31	226.33	227.46	229.94
23	235.31	228.81	229.32	230.90
24	231.70	233.51	229.77	229.88
25	232.49	232.10	233.17	230.43
26	229.00	230.75	231.06	230.16
27	221.50	225.25	227.66	230.00
28	236.07	228.79	228.86	230.15
29	221.74	228.91	226.44	228.16
30	221.31	221.53	226.37	225.92
Promedio:	227.78	228.15	228.39	228.75
Desv. Estándar:	6.29	4.11	3.19	2.00
Variación:	2.76 %	1.80 %	1.40 %	0.88 %
Número:	30.00	29.00	28.00	26.00
Mínimo:	213.08	219.15	218.81	223.60
Máximo:	240.04	234.12	233.17	231.87
Rango:	26.96	14.97	14.35	8.26

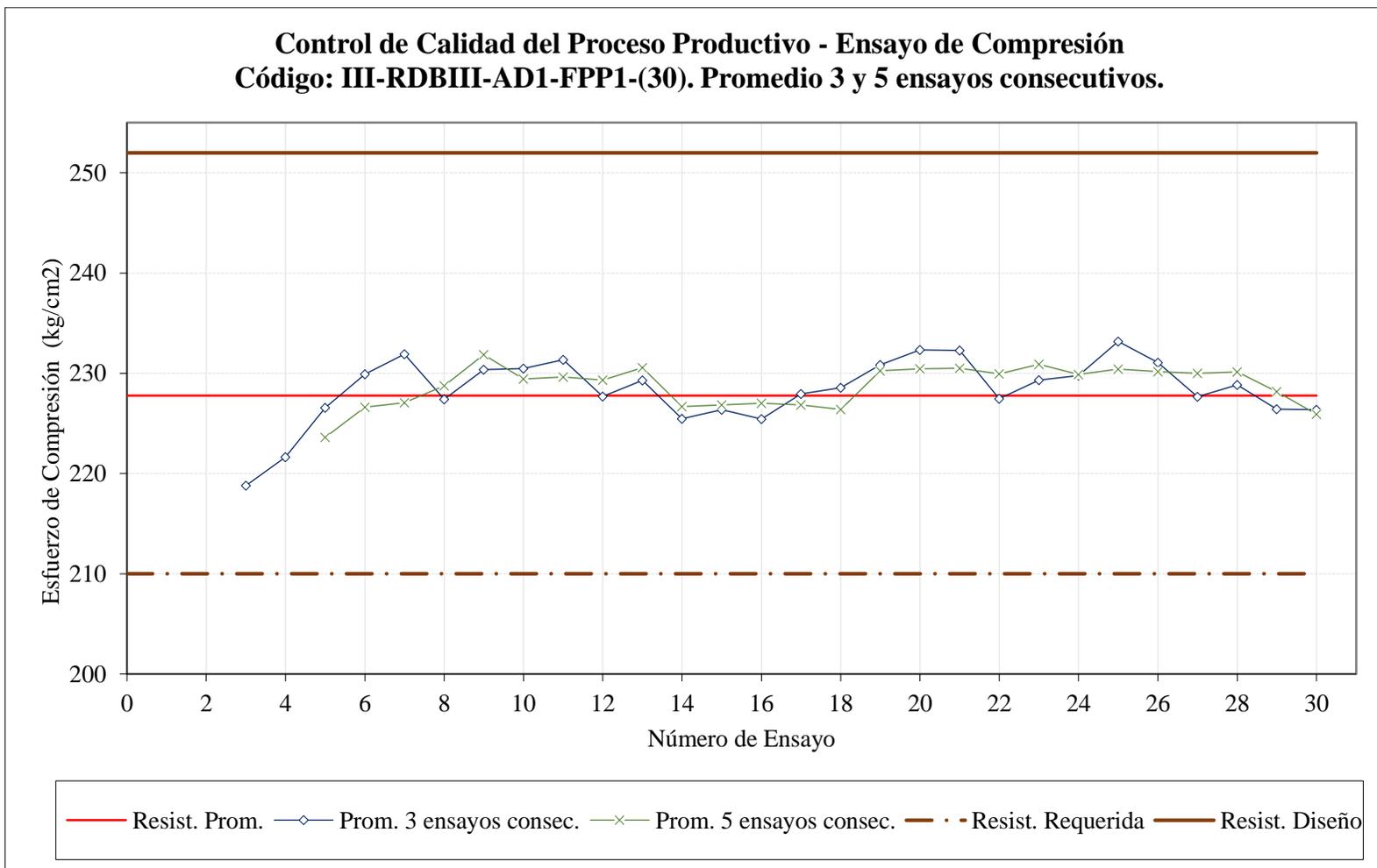
Tabla N° 69. Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación Unitaria.

PROMEDIO DE DEFORMACIÓN UNITARIA				
Código: III - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)				
Especimen N°	Def. Unit. (mm)	Prom. de 2	Prom. de 3	Prom. de 5
1	0.0081			
2	0.0099	0.0090		
3	0.0111	0.0105	0.0097	
4	0.0098	0.0105	0.0103	
5	0.0113	0.0106	0.0108	0.0101
6	0.0094	0.0104	0.0102	0.0103
7	0.0086	0.0090	0.0098	0.0100
8	0.0101	0.0093	0.0094	0.0098
9	0.0103	0.0102	0.0097	0.0099
10	0.0100	0.0101	0.0101	0.0097
11	0.0100	0.0100	0.0101	0.0098
12	0.0097	0.0098	0.0099	0.0100
13	0.0108	0.0102	0.0102	0.0102
14	0.0099	0.0103	0.0101	0.0101
15	0.0102	0.0100	0.0103	0.0101
16	0.0109	0.0106	0.0103	0.0103
17	0.0093	0.0101	0.0101	0.0102
18	0.0094	0.0093	0.0099	0.0099
19	0.0097	0.0096	0.0095	0.0099
20	0.0085	0.0091	0.0092	0.0096
21	0.0085	0.0085	0.0089	0.0091
22	0.0105	0.0095	0.0092	0.0093
23	0.0104	0.0104	0.0098	0.0095
24	0.0087	0.0096	0.0099	0.0093
25	0.0092	0.0089	0.0094	0.0095
26	0.0097	0.0094	0.0092	0.0097
27	0.0091	0.0094	0.0093	0.0094
28	0.0103	0.0097	0.0097	0.0094
29	0.0078	0.0091	0.0091	0.0092
30	0.0096	0.0087	0.0093	0.0093
Promedio:	0.0097	0.0097	0.0098	0.0098
Desv. Estándar:	0.00088	0.00061	0.00046	0.00036
Variación:	9.07 %	6.28 %	4.72 %	3.69 %
Número:	30	29	28	26
Mínimo:	0.0078	0.0085	0.0089	0.0091
Máximo:	0.0113	0.0106	0.0108	0.0103
Rango:	0.00354	0.00205	0.00183	0.0012

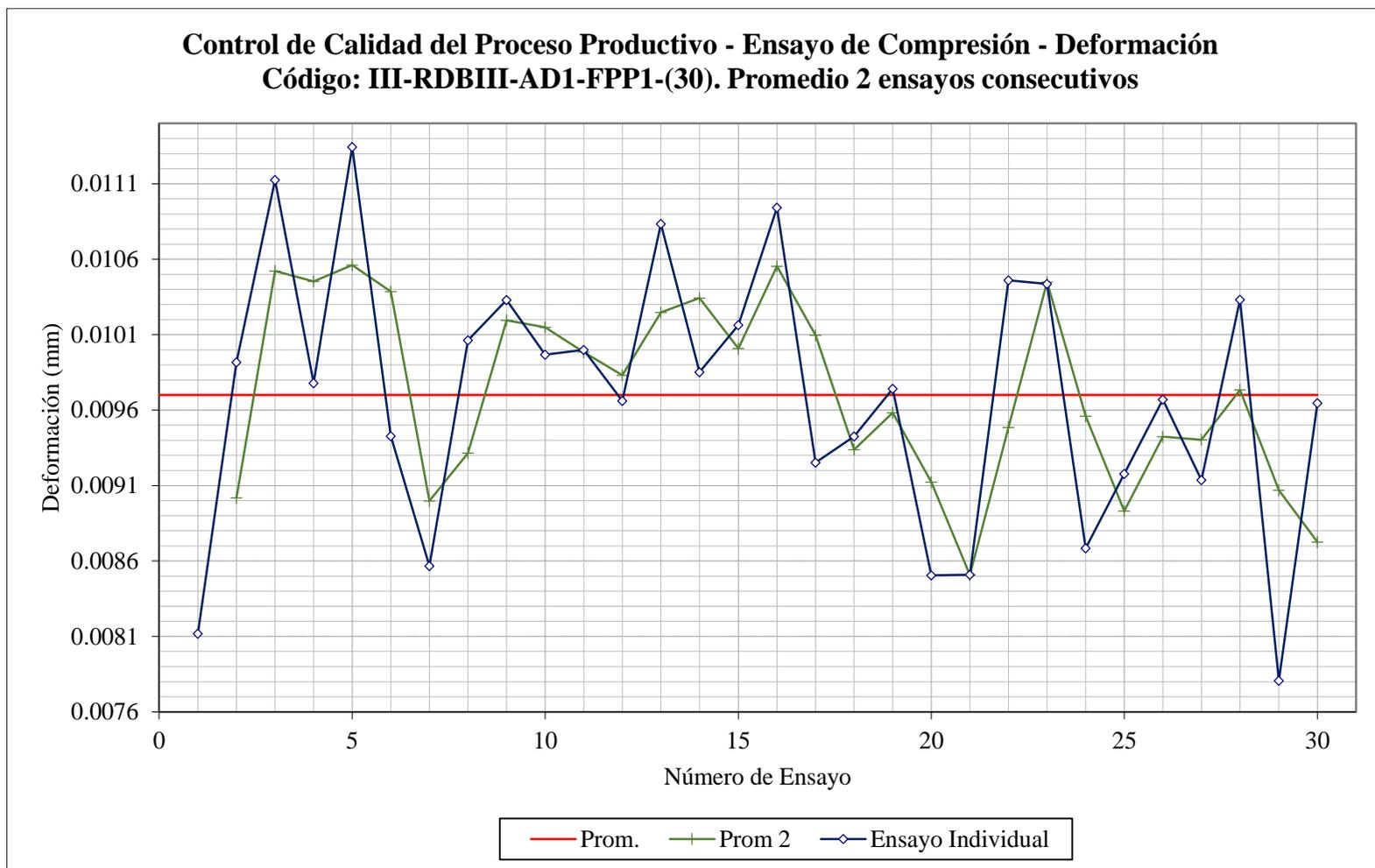
Gráfica N° 20. Promedio 2 ensayos consecutivos a Compresión.



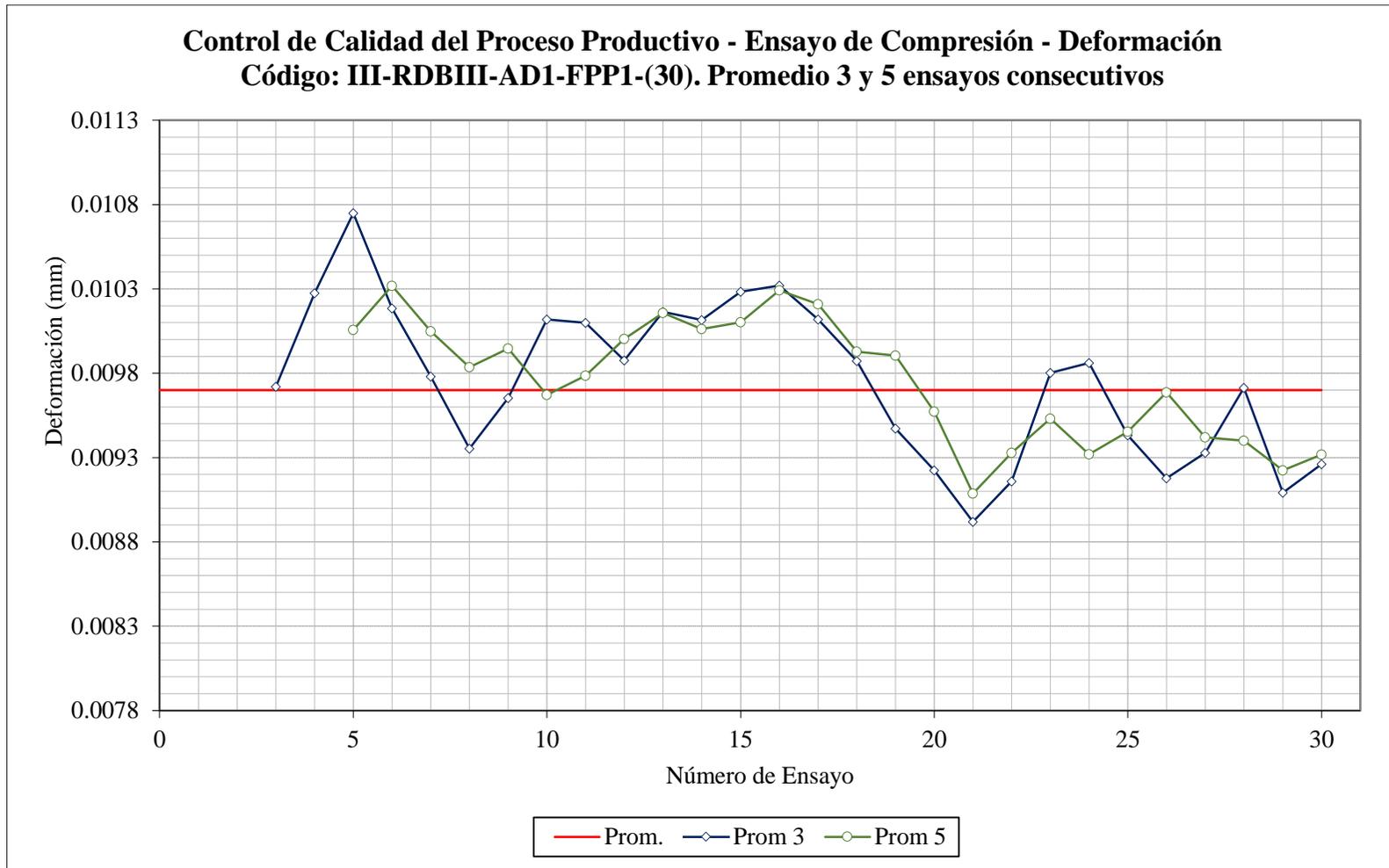
Gráfica N° 21. Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos a Compresión.



Gráfica N° 22. Promedio de 2 ensayos consecutivos. Deformación Unitaria.



Gráfica N° 23. Promedio de 3 y 5 ensayos consecutivos. Deformación Unitaria.



7.7.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO – ENSAYO A FLEXIÓN

Número de Intervalos de Clase (M): $5 \leq M \leq 20$

$M = 1 + 3.32 * \log_{10} N = 1 + 3.32 * \log_{10} (30) = 5.90$; Obtenemos por: $M = 7$

Tabla N° 70. Datos estadísticos de esfuerzo a la flexión.

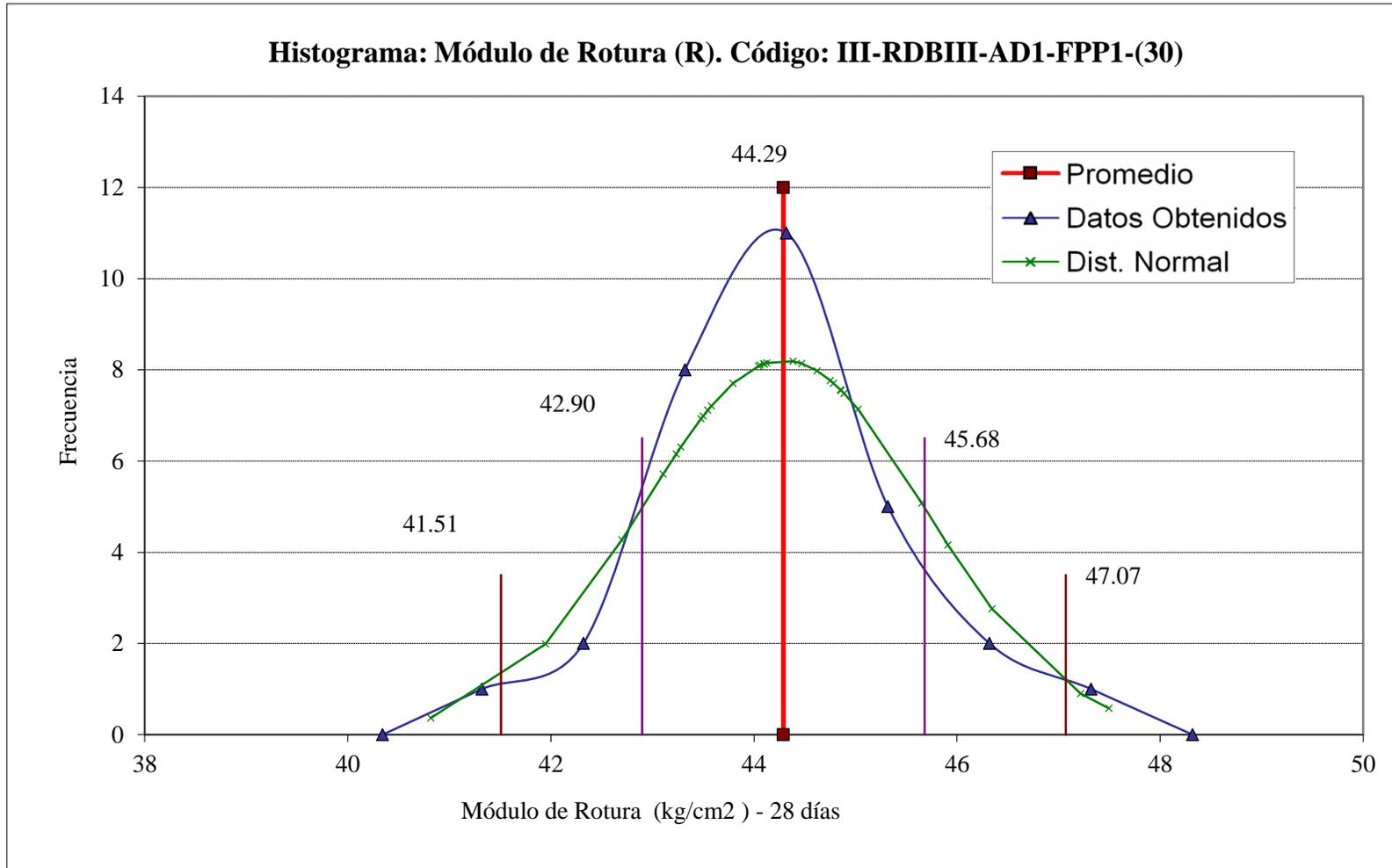
DATOS ESTADÍSTICOS DE ESFUERZO A LA FLEXIÓN	
Código:	Esfuerzo a la flexión
III - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)	kg/cm ²
Número de Datos:	30
Promedio:	44.29
Desviación Estándar:	1.39
Coef. de Variación:	3.14 %
Mínimo:	40.82
Máximo:	47.50
Rango (R):	6.68
Ancho de Intervalo:	1.00

7.7.2.1. Tablas de frecuencias e histogramas

Tabla N° 71. Frecuencias de esfuerzo a la flexión (R).

FRECUENCIA DE ESFUERZO A LA FLEXIÓN.						
Código: III - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)						
Intervalo de clase	Límite inferior kg/cm ²	Límite superior kg/cm ²	Marca de clase	Frecuencia absoluta N=30	Frecuencia relativa	Frecuencia relativa acumulada
1	40.82	41.82	41.32	1	0.033	0.033
2	41.82	42.82	42.32	2	0.067	0.100
3	42.82	43.82	43.32	8	0.267	0.367
4	43.82	44.82	44.32	11	0.367	0.733
5	44.82	45.82	45.32	5	0.167	0.900
6	45.82	46.82	46.32	2	0.067	0.967
7	46.82	47.82	47.32	1	0.033	1.000

Gráfica N° 24 . Histograma: Modulo de Rotura (R).



7.7.2.2. Prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov a la distribución normal

Tabla N° 72. Prueba de bondad de ajuste del esfuerzo a la flexión.

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV - KOLMOGOROV					
Esfuerzo a la Flexión. Código: III-RDBII-AD1-FPP1-(30)					
N°	Valor Ord. (kg/cm ²)	Frec. Rel. Acumulada	Valor típico	Probabilidad Acumulada	Diferencia
	Xi	Sn (Xi)	Zi	F ₀ (xi)	FX (x)-Sn (x)
1	40.82	0.03	-2.496	0.0063	-0.0270
2	41.95	0.07	-1.684	0.0461	-0.0206
3	42.70	0.10	-1.143	0.1264	0.0264
4	43.11	0.13	-0.851	0.1975	0.0641
5	43.23	0.17	-0.759	0.2240	0.0574
6	43.28	0.20	-0.725	0.2341	0.0341
7	43.48	0.23	-0.582	0.2802	0.0468
8	43.50	0.27	-0.568	0.2850	0.0184
9	43.55	0.30	-0.535	0.2965	-0.0035
10	43.58	0.33	-0.509	0.3053	-0.0280
11	43.79	0.37	-0.357	0.3604	-0.0062
12	44.04	0.40	-0.176	0.4301	0.0301
13	44.06	0.43	-0.163	0.4353	0.0020
14	44.10	0.47	-0.136	0.4460	-0.0207
15	44.10	0.50	-0.135	0.4462	-0.0538
16	44.13	0.53	-0.117	0.4533	-0.0800
17	44.38	0.57	0.068	0.5273	-0.0394
18	44.47	0.60	0.131	0.5520	-0.0480
19	44.62	0.63	0.240	0.5948	-0.0386
20	44.75	0.67	0.334	0.6307	-0.0360
21	44.78	0.70	0.355	0.6388	-0.0612
22	44.85	0.73	0.404	0.6570	-0.0763
23	44.86	0.77	0.409	0.6587	-0.1080
24	44.89	0.80	0.431	0.6666	-0.1334
25	45.03	0.83	0.530	0.7020	-0.1313
26	45.65	0.87	0.981	0.8367	-0.0300
27	45.91	0.90	1.166	0.8781	-0.0219
28	46.34	0.93	1.477	0.9302	-0.0031
29	47.22	0.97	2.104	0.9823	0.0157
30	47.50	1.00	2.306	0.9894	-0.0106

Tabla N° 73. Valor crítico para la prueba de Kolmogorov-Esfuerzo a flexión

Número de Datos (N):	30	
Parámetro Normal (Media):	44.29 kg/cm ²	
Desviación Estándar:	1.39 kg/cm ²	
Máxima diferencia entre extremos:	Absoluto	0.1334
	Positivo	0.0641
	Negativo	-0.1334

El valor crítico para un número de valores N=30 y con el nivel de significancia al 5% es de 0.24, $D_{maxp}(0.05, 30) = 0.24$. La máxima diferencia obtenida es de 0.1334 por tanto se afirma que los valores de Esfuerzo de Flexión se ajustan a una Distribución Normal.

7.7.2.3. Prueba T Student

Tabla N° 74. Intervalo del 95% de confianza para la media – Resistencia a flexión

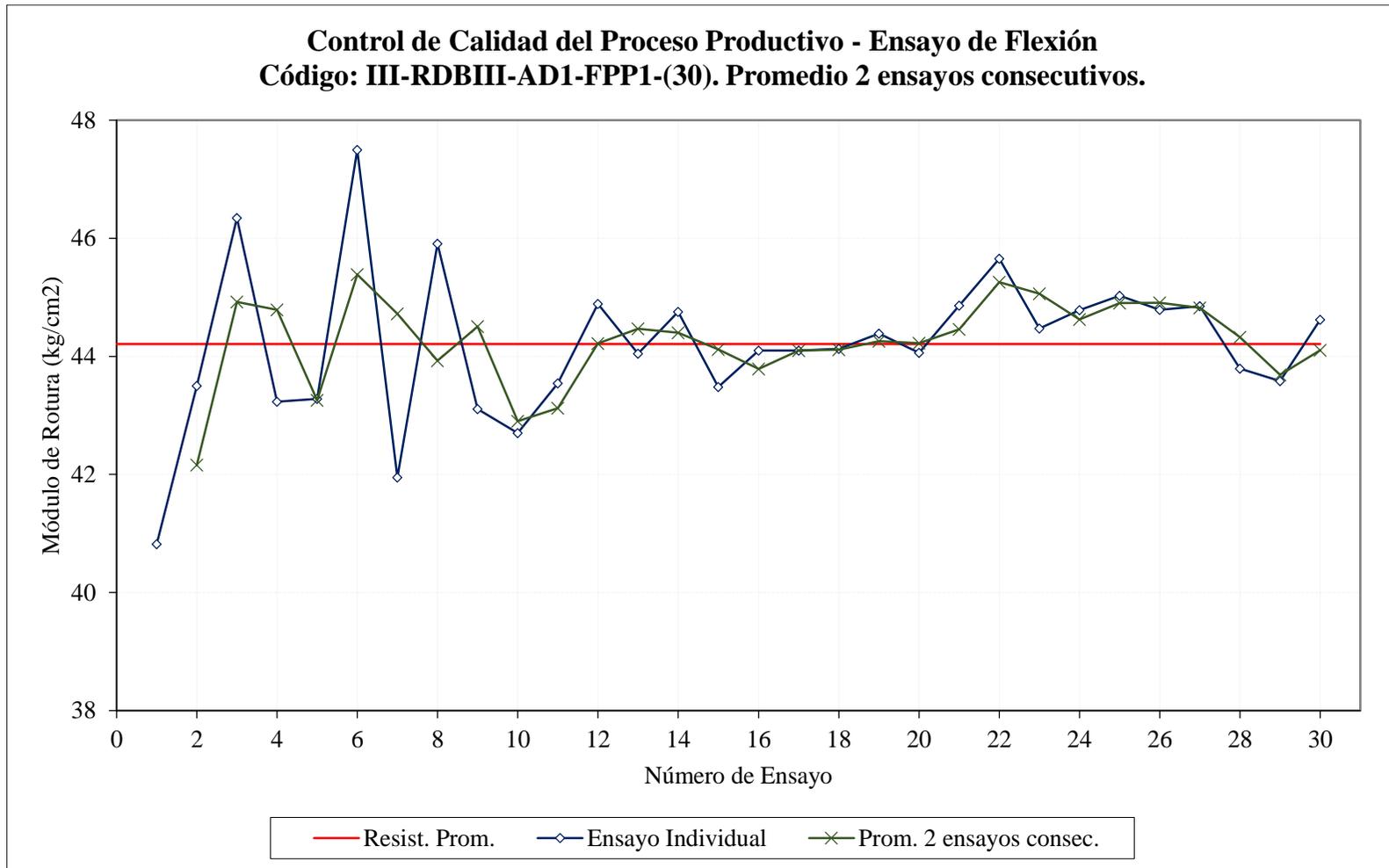
PRUEBA T – STUDENT.	
Esfuerzo a la Flexión	
Código: III -RDBII - AD1 - FPP1 - (30)	
Número de Datos (N):	30
Parámetros Normal (Media):	44.29 kg/cm ²
Desviación. Estándar	1.39 kg/cm ²
$t_{29,0.025}$	2.04523
Error Stand Desv.	0.25399
PRUEBA DE VALOR = 0	
t:	174.38
Grados de Libertad:	29
Sig. (2-colas):	0.000
Diferencia Media:	44.29 kg/cm ²
Intervalo de confianza de 95%:	Inferior: 43.77 kg/cm ²
	Superior: 44.81 kg/cm ²

7.7.2.4. Control de calidad del proceso productivo

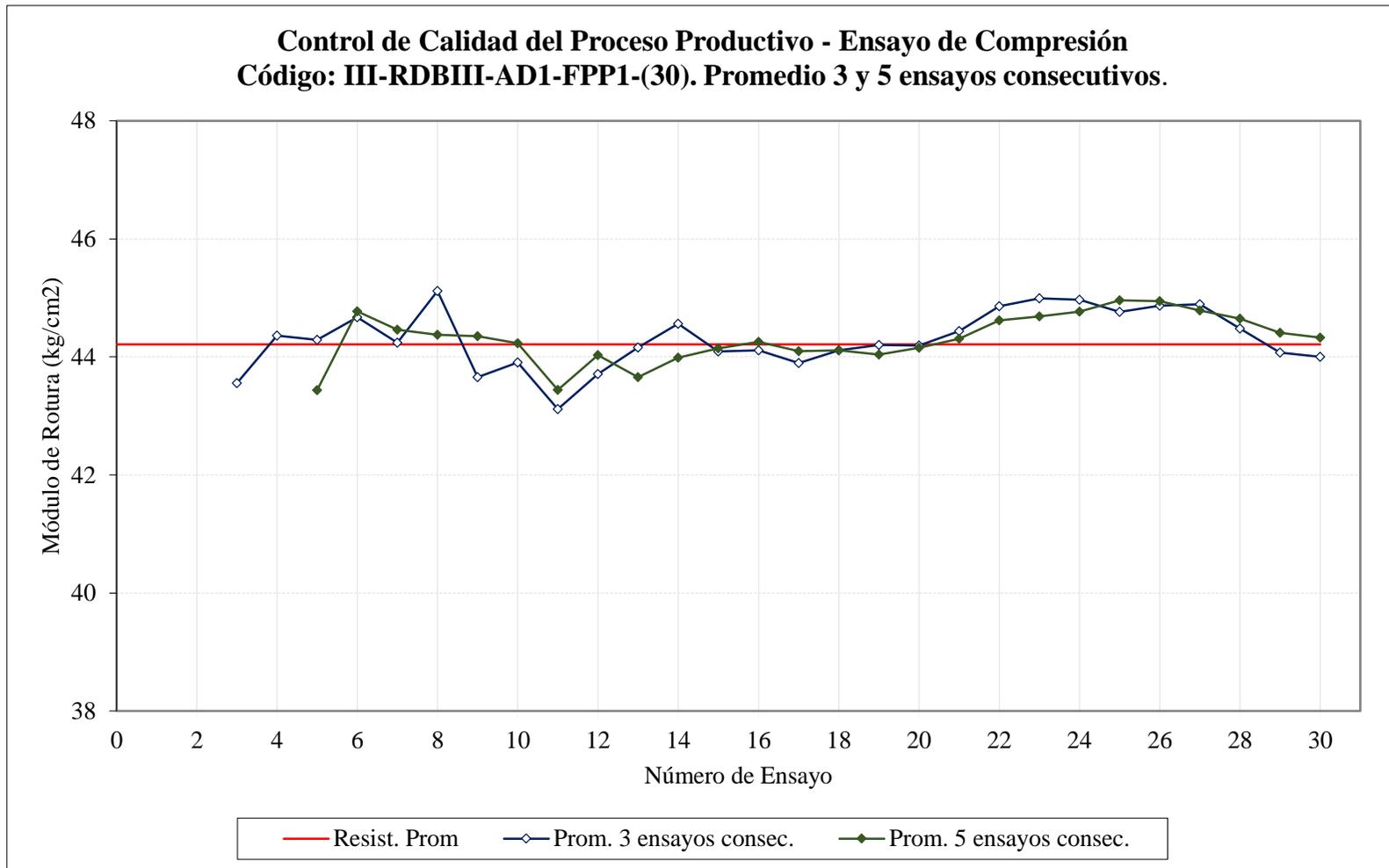
Tabla N° 75. Promedio 2, 3 y 5 ensayos consecutivos de Flexión.

PROMEDIO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN				
Código: III - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30)				
Especimen N°	R. (Kg/cm ²)	Prom. de 2	Prom. de 3	Prom. de 5
1	40.82			
2	43.50	42.16		
3	46.34	44.92	43.55	
4	43.23	44.79	44.36	
5	43.28	43.26	44.29	43.44
6	47.50	45.39	44.67	44.77
7	41.95	44.72	44.24	44.46
8	45.91	43.93	45.12	44.37
9	43.11	44.51	43.65	44.35
10	42.70	42.90	43.91	44.23
11	43.55	43.12	43.12	43.44
12	44.89	44.22	43.71	44.03
13	44.04	44.47	44.16	43.66
14	44.75	44.40	44.56	43.99
15	43.48	44.12	44.09	44.14
16	44.10	43.79	44.11	44.25
17	44.10	44.10	43.89	44.10
18	44.13	44.11	44.11	44.11
19	44.38	44.26	44.20	44.04
20	44.06	44.22	44.19	44.16
21	44.86	44.46	44.44	44.31
22	45.65	45.26	44.86	44.62
23	44.47	45.06	44.99	44.69
24	44.78	44.63	44.97	44.77
25	45.03	44.91	44.76	44.96
26	44.79	44.91	44.87	44.95
27	44.85	44.82	44.89	44.79
28	43.79	44.32	44.48	44.65
29	43.58	43.69	44.08	44.41
30	44.62	44.10	44.00	44.33
Promedio:	44.21	44.26	44.30	44.31
Desv.estándar:	1.39	0.72	0.49	0.41
Variación:	3.14	1.63	1.10	0.93
Número:	30.00	29.00	28.00	26.00
Mínimo:	40.82	42.16	43.12	43.44
Máximo:	47.50	45.39	45.12	44.96
Rango:	6.68	3.23	2.00	1.52

Gráfica N° 25. Promedio de 2 ensayos consecutivos de resistencia a la flexión.



Gráfica N° 26. Promedio 3 y 5 ensayos consecutivos de resistencia a la flexión.



7.8. ANEXO VIII. DATOS DE LABORATORIO

Tabla N° 76. Datos de laboratorio del diseño DBI.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: I - DBI - (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	Tipo	Modo
1(3)	18.40	18400.00	15.14	180.03	30.37	0.005467	11.109	2031.84	10.985	2009.16	4	Frágil
2(3)	20.40	20400.00	15.22	181.94	30.40	0.005531	11.111	2008.91	10.924	1975.10	4	Frágil
3(3)	19.80	19800.00	15.18	180.98	30.30	0.005484	11.118	2027.45	10.897	1987.15	6	Frágil
Promedio	19.53	19533.33	15.18	180.98	30.36	0.005494	11.113	2022.73	10.935	1990.47		

Tabla N° 77. Datos de laboratorio del diseño DBII.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: I - DBII - (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	Tipo	Modo
1(3)	23.40	23400.00	15.12	179.55	30.41	0.005460	10.858	1988.57	10.658	1951.94	2	Frágil
2(3)	24.60	24600.00	15.10	179.08	30.42	0.005448	10.859	1993.37	10.759	1975.01	4	Frágil
3(3)	23.80	23800.00	15.11	179.32	30.21	0.005417	10.868	2006.23	10.768	1987.77	4	Frágil
Promedio	23.93	23933.33	15.11	179.32	30.35	0.005442	10.862	1996.05	10.728	1971.57		

Tabla N° 78. Datos de laboratorio del diseño DBIII.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: I - DBIII - (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	Tipo	Modo
1(3)	23.10	23100.00	15.06	178.13	30.38	0.005412	10.754	1987.20	10.614	1961.33	4	Frágil
2(3)	22.20	22200.00	15.12	179.55	30.37	0.005453	10.748	1971.01	10.608	1945.34	1	Frágil
3(3)	23.40	23400.00	15.15	180.27	30.32	0.005466	10.826	1980.72	10.686	1955.11	1	Frágil
Promedio	22.90	22900.00	15.11	179.32	30.36	0.005443	10.776	1979.65	10.636	1953.93		

Tabla N° 79. Datos de laboratorio del diseño DBIV.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: I - DBIV - (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	Tipo	Modo
1(3)	25.50	25500.00	15.10	179.08	30.30	0.005426	10.920	2012.50	10.796	1989.65	6	Frágil
2(3)	24.80	24800.00	15.21	181.70	30.40	0.005524	10.855	1965.21	10.731	1942.76	4	Frágil
3(3)	25.30	25300.00	15.05	177.89	30.19	0.005371	10.756	2002.74	10.632	1979.65	4	Frágil
Promedio	25.20	25200.00	15.12	179.56	30.30	0.005440	10.844	1993.48	10.720	1970.69		

Tabla N° 80. Datos de laboratorio del diseño RDBIII.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: I - RDBIII - (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	Tipo	Modo
1(3)	24.40	24400.00	15.05	177.89	30.41	0.005410	10.760	1988.99	10.700	1977.90	2	Frágil
2(3)	25.30	25300.00	15.10	179.08	30.11	0.005393	10.610	1967.55	10.555	1957.35	1	Frágil
3(3)	23.90	23900.00	15.07	178.37	30.24	0.005394	10.752	1993.38	10.699	1983.56	5	Frágil
Promedio	24.53	24533.33	15.07	178.45	30.25	0.005399	10.707	1983.31	10.651	1972.94		

Tabla N° 81. Datos de laboratorio del diseño RDBIII – AD1.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: I-RDBIII - AD1 - (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	Tipo	Modo
1(3)	30.10	30100.00	15.18	180.98	30.44	0.005509	10.995	1995.80	10.880	1974.93	4	Frágil
2(3)	31.50	31500.00	15.21	181.70	30.48	0.005538	10.995	1985.33	10.899	1967.99	4	Frágil
3(3)	29.50	29500.00	15.20	181.46	30.29	0.005496	10.990	1999.50	10.912	1985.31	5	Frágil
Promedio	30.37	30366.67	15.20	181.38	30.40	0.005515	10.993	1993.54	10.897	1976.08		

Tabla N° 82. Datos de laboratorio del diseño RDBIII – AD2.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: I-RDBIII - AD2- (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(m ³)	(kg)	(kg/m ³)	(kg)	(kg/m ³)	Tipo	Modo
1(3)	32.10	32100.00	15.18	180.98	30.40	0.005502	11.025	2003.88	10.990	1997.52	4	Frágil
2(3)	28.00	28000.00	15.24	182.41	30.42	0.005549	11.002	1982.68	10.981	1978.90	4	Frágil
3(3)	31.40	31400.00	15.19	181.22	30.34	0.005498	11.028	2005.75	10.902	1982.83	4	Frágil
Promedio	30.50	30500.00	15.20	181.54	30.39	0.005516	11.018	1997.43	10.958	1986.41		

Tabla N° 83. Datos de laboratorio del diseño RDBIII – AD3.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: I-RDBIII - AD3 - (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(m ³)	(kg)	(kg/m ³)	(kg)	(kg/m ³)	Tipo	Modo
1(3)	30.90	30900.00	15.22	181.94	30.44	0.005538	11.039	1993.27	10.954	1977.92	4	Frágil
2(3)	29.90	29900.00	15.19	181.22	30.48	0.005524	11.025	1995.99	10.984	1988.57	5	Frágil
3(3)	31.10	31100.00	15.27	183.13	30.29	0.005547	11.124	2005.37	10.921	1968.77	6	Frágil
Promedio	30.63	30633.33	15.23	182.10	30.40	0.005536	11.063	1998.21	10.953	1978.42		

Tabla N° 84. Datos de laboratorio del diseño RDBIII-AD1-FPP1.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: II-RDBIII - AD1- FPP1 - (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	Tipo	Modo
1(3)	30.20	30200.00	15.18	180.98	30.42	0.005505	10.975	1993.48	10.894	1978.77	3	Dúctil
2(3)	33.50	33500.00	15.15	180.27	30.47	0.005493	11.005	2003.56	10.904	1985.17	3	Dúctil
3(3)	33.10	33100.00	15.22	181.94	30.41	0.005533	10.981	1984.75	10.812	1954.21	2	Dúctil
Promedio	32.27	32266.67	15.18	181.06	30.43	0.005510	10.987	1993.93	10.870	1972.72		

Tabla N° 85. Datos de laboratorio del diseño RDBIII-AD1-FPP2.

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: II-RDBIII - AD1- FPP2 - (3). Ensayo a los 7 días.												
N° DE	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
DISEÑO	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	Tipo	Modo
1(3)	32.70	32700.00	15.19	181.22	30.41	0.005511	11.003	1996.59	10.989	1994.05	3	Dúctil
2(3)	32.90	32900.00	15.21	181.70	30.40	0.005524	10.997	1990.91	10.890	1971.54	3	Dúctil
3(3)	31.35	31350.00	15.18	180.98	30.38	0.005498	11.012	2002.83	10.905	1983.37	3	Dúctil
Promedio	32.32	32316.67	15.19	181.30	30.40	0.005511	11.004	1996.78	10.928	1982.99		

Tabla N° 86. Datos de laboratorio del diseño II-RDBIII-AD1-FPP1-(18).

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: II - RDBIII - AD1 - FPP1 - (18). Ensayo a los 7 días.												
N° DE DISEÑO	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endurecido	Pu C° endurecido	Falla	
	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	Tipo	Modo
1(18)	28.80	28800.00	15.13	179.79	30.33	0.005453	10.892	1997.41	10.712	1964.40	2	Dúctil
2(18)	29.90	29900.00	15.10	179.08	30.32	0.005430	10.889	2005.46	10.742	1978.39	3	Dúctil
3(18)	28.20	28200.00	15.18	180.98	30.35	0.005493	10.892	1982.97	10.702	1948.38	2	Dúctil
4(18)	29.76	29760.00	15.17	180.74	30.30	0.005477	10.883	1987.22	10.698	1953.43	3	Dúctil
5(18)	29.80	29800.00	15.11	179.32	30.31	0.005435	10.898	2005.13	10.700	1968.70	3	Dúctil
6(18)	28.60	28600.00	15.13	179.79	30.25	0.005439	10.894	2003.06	10.712	1969.60	3	Dúctil
Promedio	29.18	29176.67	15.14	179.95	30.31	0.005454	10.891	1996.87	10.711	1963.82		
DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: II - RDBIII - AD1 - FPP1 - (18). Ensayo a los 14 días.												
7(18)	37.80	37800.00	15.15	180.27	30.30	0.005462	10.895	1994.66	10.700	1958.96	2	Dúctil
8(18)	37.90	37900.00	15.11	179.32	30.32	0.005437	10.894	2003.73	10.684	1965.11	2	Dúctil
9(18)	35.80	35800.00	15.12	179.55	30.35	0.005449	10.897	1999.65	10.711	1965.52	3	Dúctil
10(18)	39.60	39600.00	15.10	179.08	30.38	0.005440	10.895	2002.61	10.702	1967.13	3	Dúctil
11(18)	38.10	38100.00	15.20	181.46	30.25	0.005489	10.889	1983.74	10.704	1950.04	3	Dúctil
12(18)	36.60	36600.00	15.12	179.55	30.33	0.005446	10.897	2000.97	10.699	1964.61	3	Dúctil
Promedio	37.63	37633.33	15.13	179.87	30.32	0.005454	10.895	1997.56	10.700	1961.90		
DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: II - RDBIII - AD1 - FPP1 - (18). Ensayo a los 28 días.												
13(18)	40.00	40000.00	15.10	179.08	30.33	0.005431	10.844	1996.52	10.798	1988.60	3	Dúctil
14(18)	40.90	40900.00	15.15	180.27	30.23	0.005449	10.859	1992.68	10.796	1981.11	3	Dúctil
15(18)	38.70	38700.00	15.10	179.08	30.29	0.005424	10.898	2009.11	10.712	1974.82	2	Dúctil
16(18)	41.10	41100.00	15.10	179.08	30.28	0.005423	10.883	2007.01	10.703	1973.81	3	Dúctil
17(18)	41.50	41500.00	15.21	181.70	30.28	0.005502	10.897	1980.63	10.706	1945.91	2	Dúctil
18(18)	39.40	39400.00	15.15	180.27	30.25	0.005453	10.794	1979.44	10.685	1959.45	3	Dúctil
Promedio	40.27	40266.67	15.14	179.91	30.28	0.005447	10.863	1994.23	10.733	1970.53		

Tabla N° 87. Datos de laboratorio del diseño III-RDBIII-AD1-FPP1-(30).

DATOS DE LABORATORIO - CÓDIGO DE DISEÑO: III - RDBIII - AD1 - FPP1 - (30). Ensayo a los 28 días.													
N° de diseño	Carga última	Carga última	Diámetro	Area	Altura	Volumen	Peso C° fresco	Pu C° fresco	Peso C° endur.	Pu C° endur.	Módulo de Elasticidad		Falla
	(Tn)	(kg)	(cm)	(cm2)	(cm)	(m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg)	(kg/m3)	(kg/cm2)	Tipo	Modo
01(30)	38.90	38900	15.25	182.56	30.49	0.005566	10.675	1917.82	10.595	1903.45	163686.16	2	Dúctil
02(30)	40.60	40600	15.15	180.27	30.45	0.005489	10.917	1988.84	10.822	1971.54	177394.02	3	Dúctil
03(30)	40.00	40000	15.28	183.37	30.36	0.005567	10.787	1937.59	10.600	1904.00	165690.19	2	Dúctil
04(30)	40.20	40200	15.20	181.46	30.40	0.005516	10.805	1958.73	10.700	1939.69	171693.42	3	Dúctil
05(30)	43.10	43100	15.12	179.55	30.26	0.005433	10.999	2024.37	10.799	1987.56	185375.11	3	Dúctil
06(30)	41.30	41300	15.18	180.98	30.35	0.005493	10.909	1986.06	10.810	1968.04	178088.57	3	Dúctil
07(30)	41.50	41500	15.24	182.41	30.12	0.005494	10.902	1984.23	10.812	1967.85	177793.14	3	Dúctil
08(30)	41.00	41000	15.18	180.98	30.41	0.005504	10.898	1980.14	10.795	1961.43	176546.67	3	Dúctil
09(30)	42.90	42900	15.18	180.98	30.04	0.005437	10.995	2022.38	10.800	1986.51	184066.31	2	Dúctil
10(30)	41.40	41400	15.21	181.70	30.24	0.005495	10.905	1984.70	10.803	1966.14	177694.43	2	Dúctil
11(30)	41.70	41700	15.22	181.94	30.16	0.005487	10.927	1991.36	10.800	1968.22	178502.80	3	Dúctil
12(18)	40.90	40900	15.18	180.98	30.43	0.005507	10.898	1978.84	10.796	1960.32	176182.89	2	Dúctil
13(30)	42.40	42400	15.23	182.18	30.09	0.005482	10.937	1995.20	10.801	1970.39	180173.75	3	Dúctil
14(30)	39.60	39600	15.22	181.94	30.45	0.005540	10.789	1947.49	10.625	1917.88	167317.32	3	Dúctil
15(30)	41.50	41500	15.20	181.46	30.28	0.005495	10.916	1986.69	10.798	1965.22	177900.25	3	Dúctil
16(30)	41.40	41400	15.14	180.03	30.42	0.005476	10.945	1998.55	10.752	1963.31	178129.83	3	Dúctil
17(30)	40.60	40600	15.15	180.27	30.48	0.005495	10.899	1983.61	10.723	1951.58	174707.14	2	Dúctil
18(30)	41.50	41500	15.14	180.03	30.36	0.005466	10.951	2003.60	10.813	1978.35	180399.94	2	Dúctil
19(30)	42.80	42800	15.17	180.74	30.18	0.005455	10.989	2014.55	10.834	1986.13	183921.10	3	Dúctil
20(30)	41.30	41300	15.13	179.79	30.45	0.005475	10.968	2003.42	10.809	1974.38	179540.96	3	Dúctil
21(30)	41.80	41800	15.20	181.46	30.15	0.005471	10.950	2001.47	10.813	1976.43	180071.39	2	Dúctil
22(30)	40.50	40500	15.23	182.18	30.27	0.005514	10.889	1974.63	10.754	1950.15	173384.10	3	Dúctil
23(30)	42.70	42700	15.20	181.46	30.13	0.005467	10.982	2008.65	10.705	1957.99	179458.40	3	Dúctil
24(30)	42.10	42100	15.21	181.70	30.13	0.005475	10.973	2004.37	10.704	1955.23	177700.59	3	Dúctil
25(30)	41.80	41800	15.13	179.79	30.45	0.005475	10.976	2004.88	10.812	1974.93	180699.32	3	Dúctil
26(30)	41.50	41500	15.19	181.22	30.30	0.005491	10.925	1989.63	10.799	1966.69	178216.88	2	Dúctil
27(30)	40.30	40300	15.22	181.94	30.43	0.005536	10.885	1966.11	10.714	1935.22	171084.43	3	Dúctil
28(30)	42.50	42500	15.14	180.03	30.30	0.005455	10.989	2014.53	10.801	1980.07	182796.48	3	Dúctil
29(30)	40.50	40500	15.25	182.65	30.20	0.005516	10.814	1960.42	10.698	1939.39	171731.13	2	Dúctil
30(30)	40.00	40000	15.17	180.74	30.48	0.005509	10.894	1977.48	10.801	1960.60	174385.49	2	Dúctil
Promedio	41.28	41277	15.19	181.23	30.31	0.005493	10.622	1986.35	10.480	1959.62	176811.07		

7.9. ANEXO IX. PANEL FOTOGRÁFICO

7.9.1. Diseños sin uso de aditivo plastificante



Imagen N° 19. Curado de especímenes.



Imagen N° 20. Asesoramiento de tesis.

Asesor: Mg. Ing. Héctor Pérez Loayza.

7.9.2. Diseños con uso de aditivo plastificante Chemaplast



Imagen N° 21. Aditivo Chemaplast, incorporado en el agua a los diseños de mezcla.



Imagen N° 22. Consistencia seca del concreto permeable.



Imagen N° 23. Concreto permeable con aditivo plastificante Chemaplast.

Código: I-RDBIII-AD1.

7.9.3. Diseños con fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina



Imagen N° 24. Incorporación a la mezcla de “Chema fibra Ultrafina”.

Código: II-RDBIII-AD1-FPP1-(18).



Imagen N° 25. Concreto endurecido con fibra y aditivo, curados 28 días.

Código: II-RDBIII-AD1-FPP1-18.



Imagen N° 26. Ensayo a compresión de especímenes que contienen “Chema fibra Ultrafina”.

Código: II-RDBIII-AD1-FPP1-18.

7.9.4. Ensayos a compresión de diseño de código III-RDBIII-AD1-FPP1-(30).



Imagen N° 27. Ensayo a compresión.



Imagen N° 28. Esfuerzo - Deformación Unitaria del concreto permeable.

7.9.5. Ensayos a flexión de código III-RDBIII-AD1-FPP1-(30).



Imagen N° 29. Ensayo de flexión de especímenes de concreto permeable.



Imagen N° 30. Especimen después de ser sometido a esfuerzo de flexión.

7.9.6. Ensayo de permeabilidad, diseño código RDBIII-AD1-FPP1.



Imagen N° 31. Permeabilidad en especimen de concreto permeable.



Imagen N° 32. Ensayo de coeficiente permeabilidad.