

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO COMPARATIVO DEL EFECTO DE ADITIVOS ACELERANTES DE FRAGUADO SIKA 3 Y ADITEC FA – 111 EN HORMIGONES ELABORADOS CON AGREGADOS DE LAS MINAS DE LA MITAD DEL MUNDO, AGREGADO GRUESO MINA "PÉREZ" Y AGREGADO FINO (POLVO AZUL) MINA "CARMEN GUALOTO".

AUTOR:

Barahona Simbaña Jeniffer Denise

Quito – Ecuador

2019

AGRADECIMIENTO

A mi madre Rosario, por su infinita paciencia y apoyo a lo largo de mi vida universitaria.

A mi padre Angel por ser mi más grande ejemplo de perseverancia, constancia y sobre todo de generosidad.

A mis dos hermanas Paulina e Irina, quienes han sido la guía a lo largo de mi vida, por ser mi apoyo incondicional, por su confianza y muestras de amor.

DEDICATORIA

A mi Memis por ser mi fuente de inspiración y sobre todo de fortaleza.

Contenido

ÍNDICE DE TABLAS. ..... **VIII**

ÍNDICE DE GRÁFICAS. ..... **XV**

ÍNDICE DE FIGURAS. ..... **XVIII**

INTRODUCCIÓN **2**

1. TEMA. **3**

2. JUSTIFICACIÓN. **3**

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. **4**

4. OBJETIVOS. **5**

4.1. OBJETIVO GENERAL: 5

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 5

5. ALCANCE. **6**

6. DELIMITACIÓN. **7**

7. HIPÓTESIS. **8**

8. VARIABLES **9**

8.1. VARIABLE DEPENDIENTE. 9

8.2. VARIABLES INDEPENDIENTES. 9

8.3. INDICADORES 9

9. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL. **9**

1. AGREGADOS. **10**

1.1. ALMACENAMIENTO DE LOS AGREGADOS. 11

1.2. MUESTREO DE LOS AGREGADOS. 12

1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS. 12

1.3.1. Contenido de humedad. *13*

1.3.2. Granulometría. *15*

1.3.3. Densidad de los agregados. *20*

1.3.4. Absorción. *26*

1.3.5. Peso unitario de los agregados. 27

1.4. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MATERIALES 28

1.4.1. Resistencia a la compresión. 29

1.4.2. Adherencia. 29

1.4.3. Dureza. 29

1.5. SUSTANCIAS PERJUDICIALES. TERRONES DE ARCILLA Y/O PARTÍCULAS DESMENUZABLES. 30

1.6. IMPUREZAS ORGÁNICAS. 30

1.7. DESGASTE QUÍMICO. 31

2. CEMENTO. 31

2.1. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO. 33

2.1.1. Hidratación del cemento 34

2.1.2. Calor de hidratación. 36

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO. 36

2.2.1. Finura del cemento. 36

2.2.2. Peso específico del cemento. 38

2.2.3. Estabilidad de volumen. 38

2.2.4. Consistencia normal. 39

2.2.5. Fraguado del cemento. 40

2.2.6. Falso fraguado. 42

2.2.7. Resistencia a la compresión. 42

2.3. CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO TIPO IP. 42

2.3.1. Cemento Selva Alegre. 44

3. AGUA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS HORMIGONES. 45

3.1. AGUA NETA DE MEZCLADO. 46

3.2. AGUA DE CURADO 50

3.3. AGUA DE MAR 51

4. ADITIVOS. 51

4.1. ADITIVOS ACELERANTES DE FRAGUADO 55

4.1.1. SIKA 3 Y ADITEC FA – 111. 58

5. DOSIFICACIÓN. 59

5.1. MÉTODO DE DENSIDAD MÁXIMA DE LOS AGREGADOS. 60

5.2. DISEÑO DE LOS HORMIGONES. 62

6. MEZCLADO. 63

14.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO. 64
1. Manejabilidad. *64*
2. Consistencia. *67*
3. Plasticidad. *68*
4. Segregación. *69*
5. Exudación. *69*
6. Homogeneidad. *70*
14.2. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO. 70
1. Resistencia a la compresión. *70*
2. Resistencia característica. *71*
3. Módulo de elasticidad. *72*

7. METODOLOGÍA DE EXPERIMENTACIÓN. 75

1. INTRODUCCIÓN. ....**¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**
2. CURADO DE MUESTRAS. 75
3. ADITIVOS. 76

8. DATOS OBTENIDOS MEDIANTE ENSAYOS EN EL LABORATORIO. 76

1. AGREGADOS. 76
A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS. 76
- *Contenido de humedad.* *76*
- *Granulometría.* *77*
- *Material más fino que pasa el tamiz N°200.* *80*
- *Densidad de los agregados.* *80*
- *Absorción.* *81*
- *Peso unitario de los agregados.* *81*

B. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS MATERIALES. 81
- *Dureza.* *82*

C. SUSTANCIAS PERJUDICIALES. 82
D. DESGASTE QUÍMICO. 82
Agregado fino. *82*
Agregado grueso. *82*
2. CEMENTO. 83
A. CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO. 83
B. TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO SELVA ALEGRE. 83
C. GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO. 83
3. DOSIFICACIÓN. 83

- *Densidad óptima de los agregados.....83*

4. HORMIGÓN ENDURECIDO. 84

- *Resistencia a la compresión.....84*
- *Resistencias características. 84*
- *Módulo de elasticidad. 85*

9. COMPARACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS UTILIZADOS CON LA NORMA NTE INEN 872:2011 Y MOP – 001F - 2002.....85

10. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS. 88

10.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO. 88

10.2. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO. 88

10.2.1. Resistencia a la compresión simple. 88

10.2.2. Módulo de elasticidad.....98

11. CONCLUSIONES, COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES. 98

11.1. CONCLUSIONES 98

10.2. COMENTARIOS 102

10.3. RECOMENDACIONES 105

ANEXOS.....113

ENSAYOS DE LOS AGREGADOS. 113

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS. 113

Anexo A: Contenido de humedad. 113

Anexo B: Granulometría. 114

Anexo C: Porcentaje de material fino. 118

Anexo D: Densidad de los agregados. 119

Anexo E: Absorción de los agregados. 120

Anexo F: Peso unitario de los agregados. 120

Anexo G: Desgaste en la máquina de los ángeles. 121

Anexo H: Terrones de arcilla. 121

Anexo I: Resistencia a los sulfatos. 122

Anexo J: Consistencia Normal del Cemento Selva Alegre. 122

Anexo K: Tiempo de fraguado del cemento. 123

Anexo L: Densidad óptima de los agregados. 123

Anexo M: Densidad óptima de los agregados. 124

Anexo N: Resistencia a la compresión y resistencia característica. 127

Anexo O: Módulo de elasticidad. 145

Índice de tablas.

Contenido..... IV

Tabla 1. Especificación de la cantidad de cilindros ensayados. 8

Tabla 2. Clases y usos de hormigones de cemento portland. 12

Tabla 3. Tamices normados para granulometría. 16

Tabla 4. Masa retenida acumulada. 17

Tabla 5. Porcentaje retenido acumulado..... 17

Tabla 6. % De Material que Pasa. 17

Tabla 7. Módulo de finura Polvo azul. 18

Tabla 8. Contenido de materia orgánica en el agregado fino según NTC - 127 31

Tabla 9. Compuestos del cemento portland..... 33

Tabla 10: Etapas de la hidratación del cemento portland. 35

Tabla 11. Requisitos Químicos cemento SELVALEGRE 44

Tabla 12. Requisitos Físicos cemento SELVALEGRE..... 44

Tabla 13. Máxima concentración de impurezas. 45

Tabla 14. Ensayos para aceptación de un agua cuestionable en la elaboración de hormigón o mortero..... 46

Tabla 14. Aditivos acelerantes de fraguado..... 58

Tabla 14 a. Requisitos físicos de los aditivos. 58

Tabla 15. Compuestos del cemento portland..... 66

Tabla 16. Consistencia del Hormigón según su Asentamiento. 68

Tabla17. Contenido de humedad del agregado fino. 76

Tabla 18. Contenido de humedad del agregado grueso. 76

Tabla 19. Granulometría promedio Agregado fino. 77

Tabla 20. Resumen granulometría Agregados Finos. 78

Tabla 21. Granulometría promedio Agregado grueso. 79

Tabla 22. Resumen granulometría Agregados Gruesos. 80

Tabla 23. Material fino que pasa el tamiz N°200 agregado fino. 80

Tabla 24. Densidad del agregado fino. 80

Tabla 25. Densidad del agregado grueso. 81

Tabla 26. Absorción de los agregados. 81

Tabla 27. Peso unitario de los agregados. 81

Tabla 28. Abrasión agregado grueso. 82

Tabla 29. Terrones de arcilla agregado fino. 82

Tabla 30. Resistencia al sulfato agregado fino. 82

Tabla 31. Resistencia al sulfato agregado grueso. 82

Tabla 32. Consistencia normal del cemento. 83

Tabla 33. Tiempo de fraguado del cemento. 83

Tabla 34. Densidad del cemento SELVALEGRE. 83

Tabla 35. Densidad óptima de los agregados. 83

Tabla 36. Resistencias a la compresión promedio de los cilindros por edades. 84

Tabla 37. Resistencias características de los cilindros por edades. 84

Tabla 38. Parámetros para el cálculo de módulo de elasticidad. 85

Tabla 39. Caracterización del agregado fino y especificaciones de la norma. 86

Tabla 40. Caracterización del agregado grueso y especificaciones de la norma. 87

Tabla 41. Propiedades del hormigón fresco que fue ensayado a los 28 días. 88

Tabla 42. Propiedades del hormigón endurecido que fue ensayado a los 28 días de relación a/c = 0.4276. 89

Tabla 43. Propiedades del hormigón endurecido que fue ensayado a los 28 días de relación a/c = 0.3844. 89

Tabla 44. Porcentaje de la resistencia característica a la compresión simple de los hormigones con aditivos, con respecto al hormigón patrón a cada edad. 90

Tabla 45. Diferencia entre el crecimiento en % de la resistencia característica a la compresión simple de las dos relaciones a/c. 94

Tabla 46. Porcentaje de la resistencia característica a la compresión simple con respecto a la resistencia alcanzada por el hormigón normal a los 28 días. 96

Tabla 47. Módulos de elasticidad promedios y deformación unitaria máxima. 98

Tabla 48. Módulos de elasticidad característico. 98

Tabla B1. Granulometría agregado fino. 114

Tabla B2. Granulometría agregado fino. 115

Tabla B3. Granulometría agregado grueso. 116

Tabla B4. Granulometría Agregado Grueso. 117

Tabla C1. Material más fino que pasa el tamiz #200. 118

Tabla C2. Material más fino que pasa el tamiz #200. 118

Tabla D1. Densidad del Agregado Fino. 119

Tabla D2. Densidad del Agregado Grueso. 119

Tabla E1. Absorción del agregado fino. 120

Tabla E2. Absorción del agregado grueso. 120

Tabla F1. Peso unitario del agregado fino. 120

Tabla F2. Peso unitario del agregado grueso. 121

Tabla G. Desgaste en la máquina de los ángeles. 121

Tabla H. Terrones de arcilla. 121

Tabla I1. Resistencia a los sulfatos agregado fino. 122

Tabla I2. Resistencia a los sulfatos agregado grueso. 122

Tabla J. Consistencia normal del cemento. 122

Tabla K. Tiempo de fraguado del cemento. 123

Tabla L. Densidad óptima de los agregados. 123

Tabla M1. Densidad óptima de los agregados. 124

Tabla M2. Densidad óptima de los agregados. 126

Tabla N1. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276. 127

Tabla N1 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276. 128

Tabla N2. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276. 128

Tabla N2 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276. 129

Tabla N3. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276. 129

Tabla N3 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276. 130

Tabla N4. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA-111. . 130

Tabla N4 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA-111. 131

Tabla N5. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA-111. . 131

Tabla N5 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 132

Tabla N6. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA-111. 132

Tabla N6 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 133

Tabla N7. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 133

Tabla N7 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 134

Tabla N8. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 134

Tabla N8 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 135

Tabla N9. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 135

Tabla N9 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 136

Tabla N10. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844. 136

Tabla N10 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844. 137

Tabla N11. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844. 137

Tabla N11 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844. 138

Tabla N12. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844. 138

Tabla N12 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844. 139

Tabla N13. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111. 139

Tabla N13 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111. 140

Tabla N14. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111. 140

Tabla N14 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111. 141

Tabla N15. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111. 141

Tabla N15 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111. 142

Tabla N16. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 142

Tabla N16 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 143

Tabla N17. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 143

Tabla N17 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 144

Tabla N18. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 144

Tabla N18 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 145

Tabla O1 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276. 145

Tabla O1 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276. 147

Tabla O1 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276. 143

Tabla O1 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276. 144

Tabla O2 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 146

Tabla O2 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 147

Tabla O2 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 149

Tabla O2 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 150

Tabla O3 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 152

Tabla O3 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 153

Tabla O3 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 155

Tabla O3 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 156

Tabla O4 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844. 158

Tabla O4 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844. 159

Tabla O4 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844. 161

Tabla O4 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844. 162

Tabla O5 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA - 111. 164

Tabla O5 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA - 111. 165

Tabla O5 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA - 111. 167

Tabla O5 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA - 111. 167

Tabla O6 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 170

Tabla O6 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 170

Tabla O6 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 173

Tabla O6 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 174

Índice de gráficas.

Gráfica 1. Granulometría promedio agregado fino. 78

Gráfica 2. Granulometría promedio agregado grueso. 79

Gráfica 3. Comparación del porcentaje de la resistencia característica, compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón. 90

Gráfica 4. Comparación del porcentaje de la resistencia característica a compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón. 91

Gráfica 5. Comparación del porcentaje de la resistencia característica a compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón de las dos relaciones a/c a la edad de 3 días. 92

Gráfica 6. Comparación del porcentaje de la resistencia característica a compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón de las dos relaciones a/c a la edad de 7 días. 93

Gráfica 7. Comparación del porcentaje de la resistencia característica a compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón de las dos relaciones a/c a la edad de 28 días. 93

Gráfica 8. Comparación entre el crecimiento en % de la resistencia a la compresión simple de las dos relaciones a/c aditivo ADITEC FA - 111. 94

Gráfica 9. Comparación entre el crecimiento en % de la resistencia a la compresión simple de las dos relaciones a/c aditivo SIKA 3. 95

Gráfica 10. Resistencia a la compresión simple (%) vs edad (días). 96

Gráfica 11. Resistencia a la compresión simple (%) vs edad (días). 97

Gráfica B2. Granulometría agregado fino. 116

Gráfica B3. Granulometría Agregado Grueso. 117

Gráfica B4. Granulometría agregado grueso. 118

Gráfica M2. Densidad óptima de los agregados. 127

Gráfica N1 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276. 128

Gráfica N2 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276. 129

Gráfica N3 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276..... 130

Gráfica N4 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 131

Gráfica N5 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 132

Gráfica N6 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 133

Gráfica N7 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 134

Gráfica N8 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 135

Gráfica N9 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 136

Gráfica N10 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844..... 137

Gráfica N11 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844..... 138

Gráfica N12 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844..... 139

Gráfica N13 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111. 140

Gráfica N14 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111. 141

Gráfica N15 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111. 142

Gráfica N16 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 143

Gráfica N17 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 144

Gráfica N18 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 145

Gráfica O1 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276. 142

Gráfica O1 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276. 145

Gráfica O2 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 148

Gráfica O2 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111. 151

Gráfica O3 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 154

Gráfica O3 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3. 157

Gráfica O4 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844. 160

Gráfica O4 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844. 163

Gráfica O5 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA -111. 166

Gráfica O5 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA -111. 169

Gráfica O6 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 172

Gráfica O6 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3. 175

Índice de figuras.

Figura 1. Distribución de los agregados. 14

Figura 2. Distribución de los agregaos. 15

Figura 3. Esquema de la distribución de una muestra de agregado. 21

Figura 2. Fórmula para determinar el promedio del porcentaje de absorción. 27

Figura 4. Rugosidad superficial 29

Figura 5. Rugosidad superficial 44

Figura 6. Distribución de los agregaos. 47

Figura 7. Agua de mezclado. 49

Figura 8. Hormigón celular. 54

Figura 9. Resumen de para diseñar hormigón. 62

Figura 9. Hormigón con consistencia fluida, alto valor de asentamiento. 67

Figura 10. Hormigón con consistencia rígida, bajo valor de asentamiento. 67

Figura 11. Hormigón con consistencia rígida, bajo valor de asentamiento. 71

Figura 12. Gráfica esfuerzo vs deformación especifica. 73

INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material artificial, el cual es muy utilizando en nuestro medio, este material artificial consta de ciertos componentes, los cuales deben cumplir con normas que plantean requisitos para que estos materiales sean usados, y de esta manera el hormigón cumpla con los requisitos de resistencia.

Dentro de este trabajo de investigación se tomó como control de calidad para los agregados las normas INEN 872 y la ASTM C - 33, los agregados fueron tomados de dos minas de la mitad del mundo, la comparación se la realizo con respecto a los aditivos, por lo cual los agregados en cada dosificación serán los mismos

El cemento que se usó es el cemento SELVAALEGRE portland puzolánico Tipo IP, el cual se rige a los requerimientos de la NTE INEN 490 y ASTM C 595.

En este trabajo de investigación se tomaron en cuenta dos resistencias de diseño la primera de f´c de 210 kg/cm^2 [21 Mpa], la cual consta en la NEC – SE - HM 3.3.1 como resistencia mínima para hormigones estructurales y la segunda de f´c de 280 kg/cm^2 [27.5], la cual sería una resistencia superior a la mínima especificada en la norma. Se escogen dos diferentes resistencias, con la finalidad de observar el comportamiento de los aditivos.

Se utilizaron dos aditivos acelerantes de fraguado de diferentes marcas, para poder realizar la comparación del desarrollo de la resistencia a la compresión del hormigón con estos aditivos, se elaboraron 5 cilindros por cada resistencia y por cada aditivo, con lo que finalmente se contó con 90 cilindros.

A estos cilindros se los ensayo a las edades 3, 7, 28 días. A los 3 días se los ensayo por tratarse de aditivos acelerantes de fraguado, a los 7 días los cilindros a excepción de las muestras patrón debieron alcanzar la resistencia para la que fueron diseñados. Y a los 28 días se realizó un control de resistencias en los hormigones.

1. Tema.

ESTUDIO COMPARATIVO DEL EFECTO DE ADITIVOS ACELERANTES DE FRAGUADO SIKA 3 Y ADITEC FA - 111 EN HORMIGONES ELABORADOS CON AGREGADOS DE LAS MINAS DE LA MITAD DEL MUNDO, AGREGADO GRUESO MINA "PÉREZ" Y AGREGADO FINO (POLVO AZUL) MINA "CARMEN GUALOTO".

2. Justificación.

El concreto es un elemento constructivo esencial en nuestro medio, debido a que la mayoría de las construcciones en nuestro país se realizan con el uso de este material, además que de todos los componentes que conforman una obra civil es el que usamos en mayor cantidad.

En la actualidad, para la fabricación del hormigón aparte de los materiales básicos se utilizan aditivos, esto con el propósito de modificar o mejorar ciertas propiedades y características del material; los aditivos más utilizados son los plastificantes, retardantes y acelerantes. Para nuestra investigación, que tiene por objeto utilizar un aditivo se escogió los acelerantes de fraguado y resistencia. En el mercado se tiene una gran variedad de aditivos, con los cuales se puede obtener propiedades específicas en el hormigón.

Al escoger el aditivo más adecuado para la fabricación del hormigón que queremos elaborar, la información que encontramos son hojas técnicas del producto, diseñadas por el fabricante que proporcionan datos muy generales y que no corresponden a las necesidades del ingeniero dosificador; por cuanto, en el mejor de los casos da valores en rangos de usos muy amplios para su aplicación, inclusive en algunos casos ni siquiera proporcionan estos datos, lo cual dificulta la tarea de encontrar la cantidad apropiada de aditivo que se debe añadir al hormigón para obtener las características que necesitamos.

Para la fabricación del hormigón motivo de nuestra investigación, se decidió utilizar agregados de las minas de la Mitad del Mundo, considerando que de esa zona procede el mayor porcentaje de material pétreo usado en la ciudad de Quito.

Con respecto al cemento utilizado, se escogió el Selvalegre, teniendo en cuenta que es un material que tiene características de calidad enmarcadas en las especificaciones dadas por la norma NTE INEN 490 y ASTM C 595.

Por lo cual considero de gran interés contar con datos específicos de hormigones elaborados con agregados comúnmente utilizados en los proyectos de ingeniería civil, de la ciudad de Quito, principalmente del sector norte. Serian de mucha utilidad para aquellos constructores que a lo largo de su vida profesional se encuentran con dificultades en los procesos constructivos, en los que se ven obligados a proporcionar al hormigón características especiales y específicas.

3. Planteamiento del problema.

Las dificultades que se puedan presentar, en una obra son muy variadas, por lo que se hace necesario conocer todas las características y propiedades de los materiales a usarse en la fabricación del hormigón, para lograr un producto que cumpla con los requerimientos deseados.

Aunque la finalidad de los aditivos es la misma, es lógico pensar que, al ser un material de naturaleza química, la reacción al mezclarse con los mismos materiales y en las mismas cantidades, se podría llegar a resultados distintos entre los dos aditivos.

Por lo que se hace necesarios estudios previos para establecer las proporciones correctas de cada uno de los aditivos.

Bajo este planteamiento se escogió el uso de los aditivos SIKA 3 y ADITEC FA-111.

Por cuanto estos cumplían, con las características más apropiadas para lograr el objetivo de esta investigación.

De esta manera se crea la necesidad de realizar un análisis comparativo entre dos marcas de aditivos acelerantes de fraguado usando los mismos materiales pétreos y las mismas condiciones de laboratorio.

Con lo que se busca tener una idea clara de las propiedades que se modifica con el uso del acelerante de fraguado SIKA 3 y ADITEC FA - 111, en un hormigón con las mismas condiciones de preparación, cemento, con el uso de los mismos materiales pétreos en el diseño y algo de mucha importancia a la hora de realizar un análisis comparativo en las mismas condiciones constructivas.

4. Objetivos.

4.1. Objetivo general:

- Analizar comparativamente el efecto de los aditivos acelerantes de fraguado SIKA 3 y ADITEC FA - 111 en hormigones elaborados con agregados de las minas de la Mitad del Mundo, agregado grueso mina "Pérez" y agregado fino (polvo azul) mina "Carmen Gualoto".

4.2. Objetivos específicos:

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados, obteniendo los datos de los ensayos realizados en el laboratorio de hormigones, tanto del agregado grueso de la mina "Pérez" y agregado fino de la mina "Carmen Gualoto".

- Determinar de las propiedades físico-mecánicas del agregado grueso de la mina "Pérez" y agregado fino de la mina "Carmen Gualoto", de acuerdo con la NEC – SE – HM y las normas ACI 318 - 19.

- Determinar las propiedades del cemento “Selvalegre”, a partir de los datos obtenidos en los ensayos realizados en el laboratorio de cementos.

- Realizar la dosificación óptima para la elaboración del hormigón convencional, así como también para los hormigones en donde se usarán los aditivos.

- Comparar la resistencia a la compresión del hormigón convencional y los hormigones con aditivo acelerante de fraguado, a la edad de 3 días.

- Comparar la resistencia a la compresión del hormigón convencional y los hormigones con aditivo acelerante de fraguado, a la edad de 7 días.

- Comparar la resistencia a la compresión del hormigón convencional y los hormigones con aditivo acelerante de fraguado, a la edad de 28 días.

- Determinar el módulo de elasticidad de los hormigones.

5. Alcance.

Este proyecto de investigación abarca la determinación de datos obtenidos de los ensayos para cilindros de hormigón utilizando dos marcas de aditivos, los cuales son acelerantes de fraguado SIKA 3 y ADITEC FA - 111.

Se realizó la dosificación con una relación agua cemento de 0.4276 para una resistencia esperada de $f´c = 21\ [MPa],\ 210\ \frac{kg}{cm^2}$ y una relación agua cemento de 0.3844 para una resistencia esperada $f´c = 27.5\ [MPa],\ 280\ \frac{kg}{cm^2}$.

Con la caracterización de los agregados se obtuvo una serie de datos, los cuales nos permitieron realizar una dosificación adecuada con cada uno de los aditivos,

logrando de esta manera obtener un proporciona miento óptimo con el uso de los agregados elegidos.

Con la determinación de los datos de los ensayos obtenidos en laboratorio, se pudo tener datos exactos y reales de las propiedades mecánicas que se modifican y en qué porcentaje con el uso de las dos marcas de aditivos; así mismo, cuando no se le añade ningún aditivo al hormigón.

También se realizó una comparación de las propiedades mecánicas que se modificaron con el uso de los aditivos y sin el uso de estos aditivos.

6. Delimitación.

Se realizaron 15 cilindros de hormigón para cada una de las dos marcas de aditivos y 15 cilindros para el hormigón convencional (sin aditivos), correspondiente a la rotura a la compresión, para cada una de las dos resistencias propuestas en este proyecto de investigación.

Teniendo un total de 90 cilindros.

Se realizó ensayos a compresión y módulo de elasticidad.

Tabla 1. Especificación de la cantidad de cilindros ensayados.

Especificación		Compresión simple Cilindros			Compresión, con módulo de elasticidad
Edades [días]		3	7	28	28
RESISTENCIA		210 [kg/cm^2] [21 Mpa]			
Hormigón sin aditivo					
1	a/c = 0,4276	5	5	3	2
ADITIVOS ACELERANTES DE FRAGUADO					
SIKA 3					
2	a/c = 0,4276	5	5	3	2
ADITEC FA - 111					
3	a/c = 0,4276	5	5	3	2
RESISTENCIA		280 [kg/cm^2] [27.5 Mpa]			
Hormigón sin aditivo					
4	a/c = 0,3844	5	5	3	2
ADITIVO ACELERANTES DE FRAGUADO					
SIKA 3					
5	a/c = 0,3844	5	5	3	2
ADITEC FA - 111					
6	a/c = 0,3844	5	5	3	2
TOTAL		30	30	18	12
Compresión simple en cilindros					90
Compresión y módulo de elasticidad en cilindros					12

a/c → Es la relación agua / cemento

Fuente: (Barahona, 2020)

7. Hipótesis.

Las propiedades mecánicas de los hormigones se vieron modificadas con el uso de los diferentes aditivos en la dosificación de cada hormigón, lo que se evidenció en los resultados de los ensayos de laboratorios que se hicieron en este proyecto de investigación, los cuales se especificaron y desarrollaron a lo largo de este trabajo.

8. Variables

8.1. Variable dependiente.

Comportamiento de las propiedades mecánicas de hormigones, ante el uso de diferentes marcas de aditivos, medidas mediante ensayos de laboratorio.

8.2. Variables independientes.

Dosificación de la mezcla de hormigón, edad de los cilindros de hormigón al momento de la rotura y marca del aditivo.

8.3. Indicadores

Los valores de la resistencia serán los indicadores.

9. Marco teórico y conceptual.

"El hormigón es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca" (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004, pág. 1).

Para la dosificación del hormigón se debe conocer las características y propiedades que tiene los materiales con los que se van a elaborar el hormigón, ya que las características de estos materiales y la proporción darán las propiedades mecánicas al hormigón.

La dosificación que se utilizó para cada uno de los hormigones que se realizaron en este trabajo de investigación, dependieron directamente de las características que tenían los materiales con los que se fabricaron los hormigones, y de los aditivos ADITEC FA – 111 y el SIKA 3 que se usaron.

Capítulo I

1. Agregados.

Se debe realizar una selección adecuada de los materiales ya que se debe garantizar y predecir el desempeño deseado de los materiales en condiciones de servicio. Además, que la calidad de los materiales, el diseño y el uso se interrelacionan.

Para este proyecto de disertación, se planteó desde el comienzo el uso de materiales pétreos específicos; por cuanto, es importante aclarar que no se buscó lo mejores materiales como es recomendado; el objetivo de este trabajo fue determinar el desempeño de los aditivos acelerantes de fraguado con materiales con una determinada calidad y de uso frecuente en la parte norte de la ciudad de Quito.

"Tanto el agregado fino como el agregado grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa)" (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004, pág. 103). Por lo que se convierte en el material predominante en un hormigón, e influyen en las propiedades del material tanto en estado fresco como en el endurecido; así como también en el costo.

Los agregados usados en la elaboración de hormigones deben estar formados por partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar a que la pasta se adhiera a los agregados, de igual manera que afecten a la hidratación del cemento y con ello a la resistencia a la compresión del hormigón.

Las normas que regulan las características que deben tener los agregados usados en la elaboración de hormigones es la NTE – INEN 872 (ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS.) y la ASTM C – 33.

La caracterización de los agregados se debe realizar de forma correcta, para poder hacer un diseño adecuado del hormigón, garantizando de esta manera que el hormigón este dentro de los límites para el uso que ha sido propuesto.

En la selección de material podemos hacer uso de información previa que se cuente, así como también con datos de la experiencia de personas dedicadas al diseño de hormigones.

En este proyecto de disertación los datos que se usaron son los que se obtuvieron de los ensayos realizados en los siguientes materiales:

- Polvo azul (agregado fino) de la mina "Carmen Gualoto".

- Ripio rosado (agregado grueso) de la mina "Pérez".

1.1. Almacenamiento de los agregados.

Con el correcto almacenamiento de los agregados se debe minimizar la segregación. De acuerdo con la MOP el almacenamiento de los áridos se debe realizar en lugares secos, en acopios de un espesor no mayor a 1 (m).

Para este trabajo de investigación y basándose en la tabla número 2 extraída de la MOP el tipo de hormigón a utilizarse es el hormigón de clase B.

Tabla 2. Clases y usos de hormigones de cemento portland.

CLASE	TIPO DE HORMIGÓN	RESISTENCIA ESPECIFICADA A COMPRESIÓN f c Mpa	RESISTENCIA ESPECIFICADA A TRACCIÓN POR FLEXION MR Mpa	RELACION AGUA/CEMENTO *	USO GENERAL (solamente información)
A	Estructura Especial	> 28	N/A	0.44	Obras de gran envergadura Puentes. Losa superior de alcantarillas de tráfico directo. Elementos prefabricados. Tanques y reservorios
B	Estructural	Entre 21 y 28	N/A	0.58	Losas, vigas, viguetas, columnas, nervaduras de acero, alcantarillas de cajón, estribos, muros, zapatas armadas.
C	Para elementos trabajando a tracción	N/A	> 3.5	0.46	Pavimentos rígidos, tanques y reservorios cilíndricos o cónicos
D	Para compactar con rodillo o con pavimentadora	N/A	> 3.5	0.36	Pavimentos, presas de gravedad
E	No estructural	Entre 14 y 18	N/A	0.65	Zapatas sin armar, replantillos, bordillos, contrapisos
F	Ciclópeo	> 12	N/A	0.70	Muros, estribos y plintos no estructurales
G	Relleno fluido	Entre 0.5 y 8	N/A	--	Rellenos para nivelación, bases de pavimentos, rellenos de zanjas y excavaciones

* Valores referenciales para el diseño.

Fuente: (Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes, 2002).

1.2. Muestreo de los agregados.

Para la obtención de resultados representativos, se debe tener en cuenta factores como: capacidad y experticia del personal que va a realizar los ensayos, calibración de los equipos a utilizarse, así como también el mantenimiento adecuado de los mismos. De igual manera la correcta implementación de las especificaciones redactadas en las normas INEN.

Para la obtención de las muestras de material con las que se realizaron los ensayos concernientes de los agregados se tomaron en cuenta las especificaciones de la INEN 695-1. (ÁRIDOS. MUESTREO.) y ASTM D75

1.3. Características físicas de los agregados.

Para la caracterización de los áridos se realizaron una serie de ensayos de laboratorio, para los cuales se tomó en cuenta las normas INEN y ASTM, para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos de estos ensayos.

Se comparó los resultados de estos ensayos con la norma NTE INEN 872:2011 (ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS), ASTM C 33 las cual especifican

los requisitos para los áridos utilizados en hormigón elaborado con cemento hidráulico, de la misma manera se tomaron en cuenta las especificaciones de MOP-001-F 2002.

1.3.1. Contenido de humedad.

El contenido de humedad de los agregados es una característica que se debe tener en cuenta durante todo el tiempo que se trabaje con estos materiales, debido a que la humedad natural de los agregados varía dependiendo de las condiciones en las que se tenga almacenados los áridos.

Los materiales no deben cumplir con un valor específico de humedad natural, dentro de los requisitos para la elaboración del hormigón.

Los estados de humedad de los áridos son 4:

1. Secado al horno: Se refiere a las partículas que han sido sometidas a un proceso de secado en el interior de un horno, hasta comprobar que la masa permanece constante.

2. Secado al aire: En el interior de la partícula aun contiene agua.

3. Saturado con superficie seca: es una partícula que contiene agua en su interior, su superficie se encuentra seca.

4. Húmedo: contiene agua en su interior y exterior.

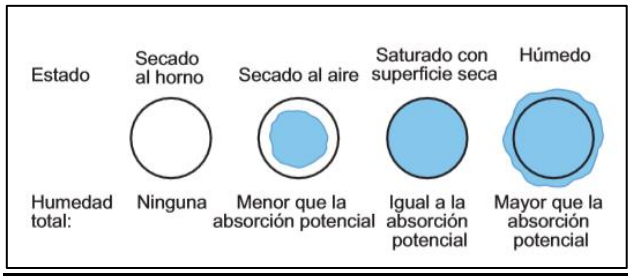


Figura 1. Distribución de los agregados.
Fuente: (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004).

La manera para determinar la humedad se especifica en la norma NTE INEN – 862. (ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTEIDO TOTAL DE HUMEDAD.) y ASTM C566 – 04.

Estas normas establecen el procedimiento para determinar el porcentaje de humedad de una muestra, correspondiente a la humedad superficial y a la que está contenida en los poros.

Consiste en tomar una muestra representativa del agregado por medio del muestreo, para colocarla en el horno a una temperatura especificada en la norma ya mencionada. Esta muestra permaneció en el horno hasta que toda el agua contenida dentro de ella se evaporo, esto se comprobó determinando que la masa de la muestra permanezca constante, después de haber pesado por dos ocasiones con un intervalo de dos horas a la muestra o dejando la muestra durante 24 horas en el horno.

El porcentaje de humedad en la muestra se determina de la siguiente manera.

$$\% = \frac{100(M_H - M_S)}{M_S}$$

En donde:

$\% \rightarrow Porcentaje\ de\ humedad\ evaporable\ de\ la\ muestra.$

$M_H \rightarrow Masa\ de\ la\ muestra\ en\ estado\ natural.$

$M_S \rightarrow Masa\ de\ la\ muestra\ determianda\ despues\ de\ haberla\ secado.$

La norma establece que, para dos ensayos de humedad natural de una misma muestra, realizados en el mismo laboratorio y por el mismo operador, no puede diferir en más del 0.79% el uno del otro. De ser así, se debe asumir que los datos obtenidos no son los correctos.

1.3.2. Granulometría.

La adecuada gradación de las partículas de los materiales a usarse en la elaboración del hormigón es necesaria debido a que se debe contar con materiales de diferentes tamaños, de esta manera se garantiza que no existan demasiados vacíos en el hormigón. Pues las partículas más pequeñas irán ocupando los vacíos que vayan dejando las partículas de mayor tamaño y así elaborar un material más resistente.

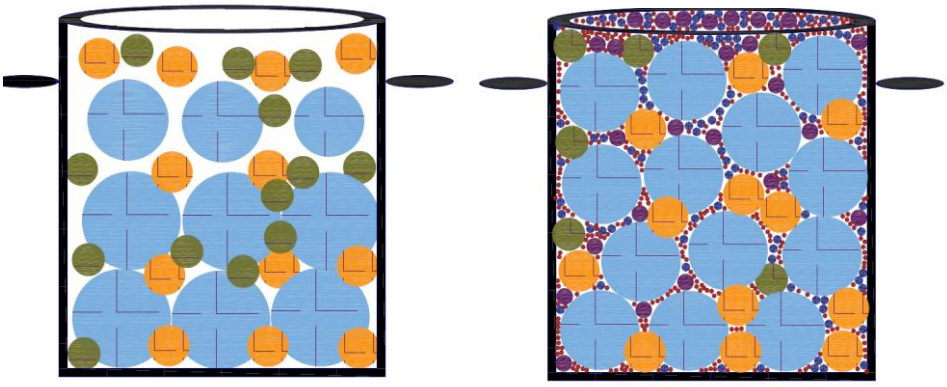


Figura 2. Distribución de los agregaos.
Fuente: (Barahona, 2019).

Para la realización del análisis granulométrico de los agregados se tomó como referencias la norma NTE INEN 696:2011 (ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO), y ASTM C 136 M.

Este ensayo se debe realizar con una muestra no menor a 300 gramos para el agregado fino y para el agregado grueso se tomó en cuenta el tamaño máximo nominal, el cual en nuestro caso es una pulgada, por lo que la muestra seca no debe ser menor a 10 kilogramos.

Para realizar el ensayo, la muestra debe estar seca, el procedimiento se realizó con el uso de un tamizador mecánico y con la siguiente serie de tamices:

Tabla 3. Tamices normados para granulometría.

Agregado Grueso		Agregado Fino	
Pulgadas	Mm	Pulgadas	Mm
2″	50.8	N° 4	4.76
1 ½ ″	38.1	N° 8	2.36
1″	25.4	N° 16	1.19
¾″	19	N° 30	0.595
½″	12.7	N° 50	0.297
3/8″	9.51	N °100	0.142
N°4	4.76		

Fuente: (Barahona, 2019).

Ordenados de forma descendente.

Los resultados de la granulometría de los agregados se representan en una gráfica, en la que las ordenadas son el porcentaje acumulado que pasa a través de los tamices establecidos en escala aritmética y en el eje de las abscisas se indican las aberturas de los tamices, en escala logarítmica.

Esta grafica nos permite analizar de una manera clara que tan grueso o fino es un material, de igual manera si existen deficiencias o excesos de un tamaño particular.

Para realizar la gráfica de granulometría se realizaron los siguientes cálculos.

- Masa retenida acumulada.

Tabla 4. Masa retenida acumulada.

Malla N°	Masa Retenida Parcial	M. Retenida Acumulada
N°	Gr	Gr
3/8	m1	m1
4	m2	m1+m2
8	m3	m1+m2+m3

Fuente: (Barahona, 2020).

- % Retenido acumulado.

$$M_T \rightarrow Masa\ total\ de\ la\ muestra.$$

Tabla 5. Porcentaje retenido acumulado.

Malla N°	M. Retenida Acumulada	Retenido Acumulado
N°	Gr	%
3/8	mr1	(mr1*100)/M_T
4	mr2	(mr2*100)/M_T
8	mr3	(mr3*100)/M_T

Fuente: (Barahona, 2020).

- % De material que pasa (Pasante).

Tabla 6. % De Material que Pasa.

Malla N°	Retenido Acumulado	Pasante
N°	%	%
3/8	ra1	100 – ra1
4	ra2	100 – ra2
8	ra3	100 – ra2

Fuente: (Barahona, 2020).

1.3.2.1. Agregado fino.

La balanza que se usó tiene una precisión 0.1 g, en cumplimiento con la norma antes mencionada.

- En la norma se especifica que "El árido fino no debe tener más de 45% pasante en cualquier tamiz y retenido en el siguiente consecutivo" (INEN, ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS., 2011, pág. 2).

- “El módulo de finura es un factor que indica de manera practica el predominio de partículas finas o partículas gruesas dentro de la distribución granulométrica.” (Guzmán, 2001)

- El módulo de finura del agregado fino para el uso en la fabricación del hormigón debe estar entre 2.3 y 3.1.

Para el módulo de finura se debe sumar los porcentajes retenidos acumulados de la masa de los siguientes tamices: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8 pulgadas, 3/4 pulgadas, 1 ½ pulgadas, 3 pulgadas y 6 pulgadas. A esta suma se la divide para 100.

Tabla 7. Módulo de finura Polvo azul.

Módulo de finura	2,71

Fuente: (Barahona, 2020).

1.3.2.2. Material más fino que pasa el tamiz N°200

Este ensayo se lo realizó de acuerdo con la norma NTE INEN 697 (ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 75 um No. 200, MEDIANTE LAVADO) y ASTM C 117 - 17

Se procedió a la realización de este ensayo únicamente por el procedimiento A (solamente con agua).

El procedimiento consistió en tomar una muestra de material fino, se la secó en el horno durante 24 horas con lo que se obtuvo una masa de la muestra de 1019.8 gramos. Después se lavó la muestra utilizando el tamiz N° 200, hasta conseguir que todo el material más pequeño que las aberturas del tamiz N° 200 pase por el tamiz mencionado. (Como medida de prevención se coloca encima del tamiz N° 200 al tamiz N° 16 ya que nuestra muestra de material podría contener material que por su tamaño ocasione daños en el tamiz N°200).

El porcentaje de material más fino que pasa el tamiz N°200, se determina de la siguiente manera:

$$\%FINO = \frac{M_S - M_L}{M_S} * 100$$

En donde:

$\%\ FINO \rightarrow Porcentaje\ de\ material\ que\ pasa\ el\ tamiz\ N°200.$

$M_S \rightarrow Muestra\ seca.$

$M_L \rightarrow Muetsra\ déspues\ del\ lavado\ y\ secado.$

1.3.2.3. Agregado Grueso.

La balanza que se usó tiene una precisión de 0.5 g, en cumplimiento con la norma antes mencionada.

- "El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por la cual debe pasar la mayor parte del agregado." (Gonzáles Salcedo, 2008). "Abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado sea el 15% o más." (Guzmán, 2001).

  También se puede considerar que el tamaño máximo nominal es la abertura del tamiz que retiene el 10 % o menos.

- "El tamaño máximo del agregado está definido como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% del material." (Guzmán, 2001)

El tamaño máximo y el tamaño máximo nominal del agregado no suele coincidir que sean el mismo valor, ya que el tamaño máximo representa a la partícula más grande que tiene el agregado, en algunos casos puede ser una sola partícula.

El tamaño máximo nominal es representativo de la muestra de agregado pues es el tamaño del tamiz en que su porcentaje retenido acumulado es el 15% o más, por lo que este valor nos indica de que tamaño son las partículas más grandes de nuestra muestra; y es el que caracteriza al agregado grueso.

Para calcular la curva granulométrica del agregado grueso se sigue el mismo proceso que para calcular la curva granulométrica del agregado fino, ya especificado en la página 16.

1.3.3. Densidad de los agregados.

Es la relación que tiene la masa de un material con respecto al volumen de este y es una característica que depende directamente de la roca de donde se extrajo el material.

Aquí se puede considerar la densidad especifica Bulk la cual es la relación de masa de la muestra en estado seco dividido para su volumen Bulk (sumatoria de las partículas permeables más impermeables).

A la densidad aparente se la considera como la masa seca dividida para el volumen de la porción impermeable de las partículas (definición basada en la norma INEN 856 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO).

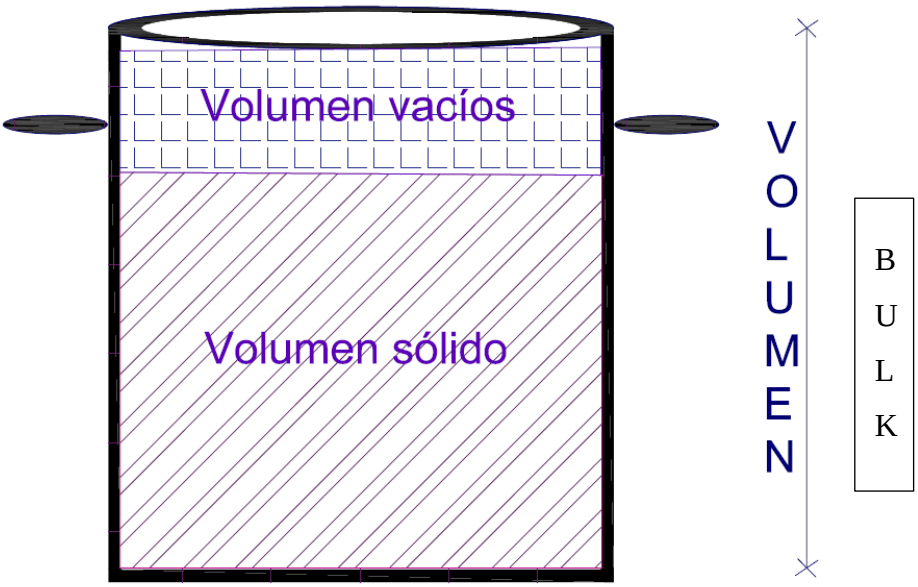


Figura 3. Esquema de la distribución de una muestra de agregado.
Fuente: (Barahona, 2019).

La densidad se expresa como:

- Seca al horno: Es la masa tomada de la muestra después de haberla secado al horno, este peso incluye los poros permeables e impermeables y excluye los vacíos entre partículas.

$$\gamma = \frac{Masa\ del\ material\ seco}{VOLUMEN\ del\ material}$$

- Saturada con superficie seca: Es la masa tomada de la muestra después de haberla secado al horno, saturarla en agua durante un tiempo y por último con ayuda de una franela quitado el agua de la superficie de las partículas de agregado. Este peso incluye los poros permeables e impermeables y excluye los vacíos entre partículas.

$$\gamma sss = \frac{Masa\ del\ material\ sss}{VOLUMEN\ del\ material}$$

- Densidad aparente. “Masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas de árido.” (INEN, Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino., 2010)

$$\gamma a = \frac{Masa\ del\ material\ seco}{VOLUMEN\ de\ sólidos}$$

De la misma manera se expresa la densidad relativa (gravedad especifica).

La densidad relativa es la relación que existe entre la densidad de un material específico y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

Esta se determina:

- Seca al horno:

$$Ge = \frac{\gamma}{\gamma H2O}$$

$$Ge = \frac{Masa\ del\ material\ sólido}{VOLUMEN\ BULK * \gamma H2O}$$

- Saturada con superficie seca:

$$Gesss = \frac{Masa\ del\ material\ sólido}{VOLUMEN\ BULK * \gamma H2O}$$

- Densidad aparente:

$$Gea = \frac{Masa\ del\ material\ sólido}{VOLUMEN\ BULK * \gamma H2O}$$

1.3.3.1. Agregado fino.

Para los cálculos el peso se determina sin tomar en cuenta los vacíos en el agregado, este resultado se logra eliminando todas las partículas de aire del picnómetro en el que se coloca la muestra de agregado para la determinación de su peso.

Se utilizó el literal a) procedimiento gravimétrico, utilizamos la siguientes formulas, las cuales esta especificadas en la norma NTE INEN – 856 (ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO) y ASTM C 128 – 07 a.

- Densidad relativa (gravedad específica).

$$Dr = \frac{M_S}{(P_A + M_{SSS} - P_{A+M})}$$

- Densidad relativa (satura con superficie seca).

$$Dr_{sss} = \frac{M_{SSS}}{(P_A + M_{SSS} - P_{A+M})}$$

- Densidad relativa aparente.

$$Dr_{APARENTE} = \frac{M_S}{(P_A + M_S - P_{A+M})}$$

- Densidad.

$$D = \frac{997.5 * M_S}{(P_A + M_{SSS} - P_{A+M})}$$

- Densidad (satura con superficie seca).

$$D_{sss} = \frac{997.5 * M_{SSS}}{(P_A + M_{SSS} - P_{A+M})}$$

- Densidad aparente.

$$D_{APARENTE} = \frac{997.5 * M_S}{(P_A + M_S - P_{A+M})}$$

En donde:

$D_r \rightarrow Densidad\ relatica\ o\ gravedad\ especifica.$

$M_S \rightarrow Masa\ de\ la\ muestra\ en\ estado\ seco.$

$P_A \rightarrow Masa\ del\ picnometro\ con\ agua\ hasta\ la\ marca\ de\ calibrasión.$

$M_{SSS} \rightarrow Masa\ de\ la\ muestra\ en\ estado\ saturada\ con\ superficie\ seca.$

$$P_{A+M} \rightarrow Masa\ del\ picnometro\ con\ agua\ y\ muestra.$$

1.3.3.2. Agregado grueso.

Se utilizó la siguientes formulas, las cuales esta especificadas en la norma NTE INEN – 857 (ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA, GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO) y ASTM C 127 – 07.

- Densidad relativa (gravedad específica).

$$Dr = \frac{M_S}{(M_{SSS} - M_A)}$$

- Densidad relativa (satura con superficie seca).

$$Dr_{sss} = \frac{M_{SSS}}{(M_{SSS} - M_A)}$$

- Densidad relativa aparente.

$$Dr_{APARENTE} = \frac{M_S}{(M_S - M_A)}$$

- Densidad.

$$D = \frac{997.5 * M_S}{(M_{SSS} - M_A)}$$

- Densidad (satura con superficie seca).

$$D_{sss} = \frac{997.5 * M_{SSS}}{(M_{SSS} - M_A)}$$

- Densidad aparente.

$$D_{APARENTE} = \frac{997.5 * M_S}{(M_{SSS} - M_A)}$$

En donde:

$D_r \rightarrow Densidad\ relatica\ o\ gravedad\ especifica.$

$M_S \rightarrow Masa\ de\ la\ muestra\ en\ estado\ seco.$

M_{SSS}
$\rightarrow Masa\ de\ la\ muestra\ en\ estado\ saturada\ con\ superficie\ seca, en\ el\ aire.$

$M_A \rightarrow Masa\ de\ la\ muestra\ saturada\ en\ agua.$

Para el cálculo de la densidad del agregado grueso, el ensayo considera que la muestra debe ser dividida en por lo menos en dos porciones y en nuestro caso fueron:

1. Material que retiene el tamiz de ½ pulgada.

2. Material que retiene el tamiz N°4.

Y para la obtención de los valores de las diferentes densidades se aplicó la siguiente formula.

$$G = \frac{1}{\frac{\%1}{100 * D1} + \frac{\%2}{100 * D2} + \cdots + \frac{\%n}{100 * Dn}}$$

En donde:

%

$\rightarrow Es\ el\ porcentaje\ que\ tiene\ cada\ porción\ de\ agregado\ dentro\ de\ la\ muestra.$

D

$\rightarrow Valores\ de\ cada\ densidad\ en\ cada\ una\ de\ las\ porciones\ de\ agregado.$

1.3.4. Absorción.

La absorción de los materiales tiene que ver con la porosidad de estos, por lo que resultan características importantes del agregado que va a usarse en un hormigón. Si el agregado es poroso afectará en la adherencia de los materiales pues la superficie de contacto entre los materiales será mucho menor y con ello la resistencia a la compresión.

Los agregados tienen 4 estados de saturación los cuales son: Seco, parcialmente húmedo, saturado con superficie seca y sobresaturado, la absorción resulta de cuantos poros permeables tiene el agregado. Por lo que para determinar el

porcentaje de absorción se resta el peso de la muestra seca del peso de la muestra saturada con superficie seca y se divide para el peso de la muestra seca por 100.

Con esto podremos determinar correctamente el agua que necesitamos para mezclar el hormigón, pues tendremos en cuenta el agua que el agregado va a absorber.

1.3.4.1. Agregado grueso.

Cuando obtenemos las densidades por medio de porciones de la muestra de material, la norma específica que usemos la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de absorción del agregado.

$$A = \frac{P_1 A_1}{(100)} + \frac{P_2 A_2}{(100)} + \ldots\ldots + \frac{P_n A_n}{(100)}$$

Donde:

A = promedio de absorción, %,
$A_1, A_2 \ldots A_n$ = porcentajes de absorción para cada fracción, y
$P_1, P_2 \ldots P_n$ = porcentajes de la masa de cada fracción presente en la muestra original.

Figura 2. Fórmula para determinar el promedio del porcentaje de absorción.
Fuente: (NTE INE 857, 2010).

1.3.5. Peso unitario de los agregados.

El peso unitario es la relación entre el peso de un agregado y el volumen que este ocupa, tomando en cuenta los vacíos entre partículas y los poros de estas incluyendo saturables y no saturables. Al tener diferentes dimensiones las partículas se acomodan entre ellas y por sus diferentes formas quedan espacios.

El peso depende de que tan compactas estén las partículas, por lo que se puede tener:

- Masa unitaria compacta, que depende de la vibración a la que haya sido sometida la muestra, al someter la muestra a vibración las partículas tienen

un mejor acomodamiento entre ellas y por ello entran más cantidad de partículas en el recipiente por lo que la masa incrementa.

"La importancia de este fator radica en que con él se determina los volúmenes absolutos de agregados en el diseño de mezclas por cuanto las partículas del agregado van a quedar confinadas dentro de la masa de concreto." (Guzmán, 2001)

- Masa unitaria suelta, esta masa tiene menor valor debido a que únicamente es colocada en estado natural dentro del recipiente, por lo que sus partículas tienen mayor cantidad de espacios, con lo que el recipiente se llenara con una menor cantidad de partículas.

  Debemos tener en cuenta que para el transporte del material es importante considerar la masa unitaria suelta pues menos material ocupara más espacio, con ello podremos considerar cuanto espacio necesitaremos para poder transportar cierta cantidad de material.

1.4. Características mecánicas de los materiales.

Se debe tener claras las características mecánicas de los materiales, para diseñar un hormigón que cumpla con las necesidades que requerimos, debido a que serán de estas de las que dependan las características mecánicas del hormigón.

"Las propiedades mecánicas pueden definirse específicamente como aquellas que tienen que ver con el comportamiento (ya sea elástico o inelástico) de un material bajo fuerzas aplicadas. Las propiedades mecánicas se expresan en términos de cantidades que son funciones del esfuerzo o de la deformación o ambas simultáneamente." (Harmer E., George Earl, & Clement W., 1966)

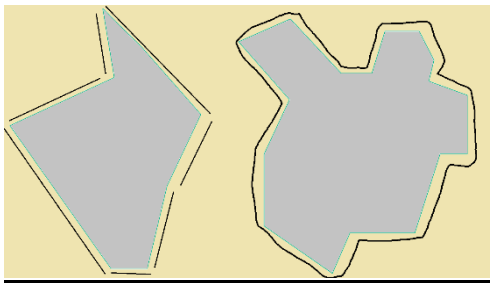
1.4.1. Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión del hormigón es directamente proporcional a la resistencia a la compresión del agregado grueso, también depende de la adherencia que tenga el agregado con la pasta, por ello se dice que el hormigón endurecido es una roca artificial.

"La resistencia de un material se mide por el esfuerzo según el cual se desarrolla alguna condición limitativa específica. Las principales condiciones limitativas o criterios de la falla son la terminación de la acción elástica y la ruptura." (Harmer E., George Earl, & Clement W., 1966)

1.4.2. Adherencia.

La adherencia se relaciona con la rugosidad superficial de las partículas, pues al existir mayor área superficial el agregado tendrá más área para trabarse con la pasta cementante, y por ende conseguir mayor resistencia.



Poco rugosa / Muy rugosa

Figura 4. Rugosidad superficial
Fuente: (Barahona, 2019).

1.4.3. Dureza.

Es el desgaste que tienen los materiales al ser sometidos a la abrasión, por ello se realiza el ensayo de abrasión normado en la NTE – INEN 860 – 1 (ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO

GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37.54 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES.) y ASTM C 131 – 06, este es un indicador de la dureza del agregado grueso.

Cuando el desgaste del agregado grueso supera el 50%, las deformaciones unitarias son menores, con lo que el hormigón resulta ser un material frágil.

1.5. Sustancias perjudiciales. Terrones de arcilla y/o partículas desmenuzables.

Estas sustancias principalmente pueden causar problemas con la adherencia de los materiales, cuando superan los límites establecidos, especialmente cuando están compuestos por limos o arcillas.

La adherencia se ve afectada porque estas partículas llegan a ser más pequeñas que las partículas de cemento por lo que provocan un aislamiento del agregado y se adhieren a la pasta cementante dejando sin adherencia a las partículas de agregado. Y con ello perjudicando en la resistencia del hormigón; además, que aumentan la demanda de agua para el mezclado del hormigón.

Con la realización de este ensayo determinamos si el material tiene terrones de arcilla o partículas desmenuzables que puede tener el agregado fino, y cuando el contenido supera el 10 %, sería perjudicial para la durabilidad del hormigón que no está expuesto a la abrasión superficial.

1.6. Impurezas orgánicas.

La materia orgánica que se encuentra en el agregado fino se manifiesta en forma de humus, en cantidades mayores a 500 partes por millón afectan directamente a la reacción química de hidratación durante el fraguado, impidiéndolo parcial o totalmente.

Para la determinación de las impurezas orgánicas en un material tenemos la siguiente tabla.

Tabla 8. Contenido de materia orgánica en el agregado fino según NTC - 127

COLOR	Número del color	Número de la referencia orgánica
Amarillo claro	5	1
Amarillo oscuro	8	2
Ambar	11	3
Ambar oscuro	14	4
Negro	16	5

Fuente: (Guzmán, 2001).

"Se considera que el contenido de materia orgánica no es perjudicial si el ensayo da un valor de 3 o inferior en el número de referencia." (Guzmán, 2001)

1.7. Desgaste químico.

El desgaste químico se determina a través del ensayo de durabilidad a los ciclos de sulfatos especificada en la norma NTE INEN – 863 (ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE SULFATO DE MAGNESIO) y ASTM C 88 – 05.

No debe superar el 10 % cuando se usa sulfato de sodio y menor al 15 % cuando se utiliza sulfato de magnesio, para poder establecer que el material es de buena calidad.

Capítulo II

2. Cemento.

El cemento que se usó para la realización de este plan de disertación fue el cemento "Selvalegre"

El cemento es un material de tipo conglomerante hidráulico, es un material inorgánico finamente molido, que al mezclarlo con agua forma una pasta, que con el pasar del tiempo se endurece, pasando por el fraguado que es un proceso de hidratación y continuando a la fase de endurecimiento. Una vez esta pasta se endurece conserva la resistencia y estabilidad incluso debajo del agua.

El cemento está conformado por una mezcla de caliza, arcilla y yeso, el costo de estos materiales resulta en que el cemento sea la alternativa más usada para la construcción.

Esta pasta, una vez que ya está hidratada forma la unión entre los agregados de un hormigón y actuando junto con el agregado grueso como suministro de resistencia mecánica de esta piedra artificial que es el hormigón.

El proceso para la fabricación de cemento portland consiste en las siguientes etapas:

- Extracción de la materia prima.
- Dosificación de la materia anteriormente extraída.
- Homogeneización.
- Clinkerización.
- Enfriamiento.
- Molienda del clinker más yeso.
- Empaque y distribución.

2.1. Propiedades químicas del cemento.

La siguiente composición del cemento se produce después de la clinkerización.

Tabla 9. Compuestos del cemento portland

Nombre del compuesto	Composición del óxido	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3CaOSiO_2$	C_3S
Silicato dicálcico	$2CaOSiO_2$	C_2S
Aluminio tricálcico	$3CaOAl_2O_3$	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	$4CaOFe_2O_3Al_2O_3$	C_4AF

Fuente: (Guzmán, 2001)

Los 4 compuestos forman un mineral artificial conocido como clinker portland.

Estos compuestos se los conoce como fases, debido a que no se presentan aislados, contienen impurezas. De estas fases y la cantidad que contiene el cemento se puede identificar las propiedades del cemento.

Por lo que podemos hablar de 4 fases principales:

- Fase "Alita" (C_3S).

  Este compuesto se hidrata y endurece rápidamente, por lo que es la responsable principalmente del fraguado inicial y de la resistencia temprana.

  Esta fase constituye del 50% al 70% del clinker.

- Fase "Belita" (C_2S).

  El tiempo de endurecimiento e hidratación es más lento, por lo que es responsable del aumento de la resistencia, después de una semana.

  Esta fase constituye del 15% al 30% del clinker.

- Fase “Aluminato” (C_3A).

Esta fase contribuye a la resistencia inicial, pero con una gran cantidad de calor de hidratación por lo que constituye de 5% a 10% del clinker. Además, que es la responsable de provocar cambios volumétricos y que el hormigón no tenga resistencia a los sulfatos.

- Fase “Ferrito” (C_4AF).

Comprende del 5% al 15% del clinker. Es un compuesto denominado como de relleno, debido a que no aporta en la resistencia, se lo utiliza para reducir la temperatura de clinkerización, además aporta el color gris del cemento.

Es de gran importancia mencionar la adición de yeso durante la molienda final para controlar el fraguado y desarrollar la resistencia del hormigón.

2.1.1. Hidratación del cemento.

Este es el proceso que convierte al cemento y el agua como un agente de enlace; al reaccionar químicamente el agua con el cemento se forma una pasta de cemento, y se forman dos categorías: compuestos cristalinos hidratados y gel.

Esto se trata de un proceso en el cual al poner en contacto las partículas de cemento con el agua, se forman cristales que van creciendo lentamente, y se forma un gel que envuelve los cristales. El gel que se forma inicialmente es un gel inestable por la cantidad de agua que posee, por lo que al poco tiempo toda el agua esta transformada en gel. Los cristales necesitan agua para desarrollarse por lo que van consumiendo el agua del gel. Al perder agua el gel se convierte en gel estable.

A continuación, se especifican las etapas de reacción después la hidratación del cemento. Tomadas del libro de (Guzmán, 2001, pág. 39).

Tabla 10: Etapas de la hidratación del cemento portland.

Etapa	Proceso Químico	Proceso físico.	Influencia en las propiedades mecánicas.
Primeros minutos	Hidratación inicial del C_3S. Formación de etringita.	Alta velocidad de evolución del calor.	Influye en el fraguado.
Período de inducción. (1 – 4 horas)	El Ca alcanza el nivel de supersaturación.	Disminuye la velocidad de evolución del calor.	Influyen en la trabajabilidad y en el fraguado. Determina el fraguado inicial.
Etapa de aceleración. (De 3ª – 12ª hora) Aproximadamente	Disminución de la supersaturación del Ca.	Disminuye la porosidad, alta velocidad de evolución de calor.	Fraguado inicial; cambio de la consistencia plástica a rígida; desarrollo de la resistencia temprana; fraguado final.
Etapa de post – aceleración	Recristalización de etringita a monosulfato y polimerización de posibles silicatos.	Disminuye la evolución de calor. Disminuye la porosidad. Adherencia entre partículas y entre la pasta y el agregado.	Desarrollo de la resistencia a velocidad decreciente. La porosidad y la morfología del sistema hidratado determina la resistencia final, la estabilidad del volumen y la durabilidad.

Fuente: (Barahona, 2020)

", se puede decir que, hasta los 3 días de edad, el desarrollo de resistencia se debe a hidratación del C_3S y del C_3A; hasta los 7 días prácticamente por el aumento de hidratación del C_3S; hasta los 28 días, el incremento se debe principalmente al C_3S, con pequeña contribución del C_2S y, finalmente, después de los 28 días el incremento se debe a hidratación del C_2S". (Guzmán, 2001, pág. 40)

2.1.2. Calor de hidratación.

Es la cantidad de calor en calorías por gramo de cemento deshidratado, después de la hidratación, a una temperatura dada.

Esta depende de la composición química del cemento, relación agua cemento, finura del cemento y temperatura del curado.

Durante las primeras 24 horas se produce la mayor tasa de liberación de calor, en dos días siguientes la tasa de liberación es considerable.

Es importante tener en cuenta esta propiedad, debido a que al hidratarse el cemento se produce temperaturas elevadas, al terminarse el fraguado esta temperatura desciende, por lo cual se pueden ocasionar agrietamientos en el material debido a la contracción que se origina por el cambio de temperatura.

2.2. Propiedades Físicas del cemento.

2.2.1. Finura del cemento.

Las partículas de cemento son angulares, con distintos tamaños, producto de la pulverización del clínker en el molino.

"La distribución total del tamaño de las partículas del cemento se llama "finura"". (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004, pág. 58)

La finura del cemento está relacionada con la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y aumento de resistencia con la edad.

La finura se expresa por el área superficial de las partículas contenidas en un gramo de material, la cual se denomina superficie especifica (cm^2/g).

Se conoce que la velocidad de hidratación es de 3.5 micras en 28 días; si las partículas del cemento son más finas el endurecimiento y el desarrollo de la

resistencia será más rápido, al igual que: el calor de hidratación, la retracción, por ende, más propenso a la fisuración, pero será menos propenso a la exudación debido a que retendrá de mejor manera el agua.

Las partículas más finas del cemento son las responsables de la hidratación temprana, esto son los primeros 7 días.

Partículas de cemento gruesas se hidratan y endurecen lentamente por lo que la exudación será un problema, debido a que no tendrá capacidad para retener el agua.

Y al ser gruesas las partículas no llegaran a hidratarse nunca, dejando de esta manera en su interior un núcleo anhidrido.

Los ensayos para la finura del cemento son los siguientes:

- Mediante tamizado colocando el cemento sobre dos mallas la N° 100 y la N° 200.

- Por tamizado sobre una malla N° 325 y con la ayuda de chorro a presión de 0.7 $kg/cm^{2.}$

Estos métodos nos ayudan a determinar si existen partículas muy gruesas en el cemento, podría ser debido al mal almacenamiento del cemento.

- Turbidímetro de Wagner, es un método por sedimentación y con el podemos tener una idea de la distribución de tamaños del cemento.

- Permeabilímetro de Blaine, es el método actualmente usado y consiste en medir el tiempo que una cantidad de aire puede atravesar una muestra de cemento y compararla con una muestra patrón de superficie especifica conocida. Con lo que nos hacemos una idea clara de la variación relativa en la finura.

2.2.2. Peso específico del cemento.

Es la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa, excluyendo a el aire que se encuentra entre las partículas, para el cemento portland puzolánico la densidad varia de 2.9 a 3.15 g/cm^2, podemos determinar que el cemento tiene adiciones, si la densidad es baja y su finura alta.

La densidad del cemento es principalmente importante para la dosificación al peso, en donde se elabora hormigón para un volumen unitario.

Los métodos para determinar la densidad del cemento son los siguientes:

- Le Chatelier, consiste en añadir un líquido que no reacciona con cemento y medir el desplazamiento del líquido, basándose en el principio de Arquímedes.
- Schumann.
- Mann.
- Candlot.
- Método del picnómetro.

La densidad aparente es el peso de las partículas de cemento incluido el aire entre las partículas por unidad de volumen.

2.2.3. Estabilidad de volumen.

Las partículas de cemento hidratadas tienen un volumen mayor al volumen de las partículas de cemento anhídridas, pero este volumen no es mayor que el volumen de las partículas de cemento más el agua con el que se hidratan, por lo que los cementos son estables; Por lo que los morteros y el hormigón se contraen al

endurecerse (retracción), esto ocurre durante los 3 primeros meses, depende de la finura del cemento, la cantidad de agua en la mezcla, las proporciones de la mezcla, las condiciones de curado y la edad del hormigón.

Se realizan los siguientes ensayos:

- Autoclave; Se somete la muestra de cemento más agua a un curado acelerado y se mide el cambio de longitud de la muestra, este cambio de longitud en porcentaje se denomina expansión en autoclave.

- Agujas de Chatelier; consiste en medir el cambio de diámetro de una muestra de pasta de cemento de 3 cm de diámetro y 0.5 cm de alto. De muestras curadas en agua a temperatura ambiente.

2.2.4. Consistencia normal.

"La consistencia se refiere a la movilidad relativa de la mezcla fresca de pasta o mortero de cemento o su habilidad de fluir". (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004, pág. 61)

La fluidez de una pasta de cemento depende directamente de la cantidad de agua que se adicione a la mezcla.

Sabemos que al tener unas partículas muy finas de cemento vamos a necesitar más agua de mezclado, pero la trabajabilidad será mejor.

En el caso de la consistencia del cemento se mide la viscosidad de la pasta y para el caso de la trabajabilidad se mide la capacidad de lubricación, y se ve afectada por el aire contenido.

La consistencia se puede medir de forma directa e indirecta.

Se la puede medir de forma indirecta como un dato complementario de otros ensayos como lo son:

- El ensayo para la determinación de los tiempos de fraguado.

- Y ensayos para determinar la estabilidad del volumen.

El ensayo para medir la consistencia se realiza utilizando el aparato de Vicat, el cual consiste en agregar una cantidad de agua conocida a 500 gramos de cemento lo colocamos en un molde troncocónico, dejamos caer el vástago del aparato el cual es de 10 mm de diámetro y por acción de su propio peso el cual es de 300 gramos, el vástago penetra en la pasta, se la deja durante 30 segundos, de la penetración de la aguja depende la consistencia del cemento, si esta ha penetrado 10 mm ± 1 mm, la pasta de cemento es de consistencia normal.

Para medir la fluidez de la pasta se necesita de una mesa de fluidez, o conocida como una mesa de caídas o de sacudidas.

2.2.5. Fraguado del cemento.

El fraguado consiste en el cambio de estado plástico de la pasta a estado endurecido.

Se debe tener presente que el fraguado no es lo mismo que el endurecimiento de la pasta, ya que, como se mencionó anteriormente el fraguado es el cambio de estado de la pasta y el endurecimiento es el aumento de resistencia de una pasta de cemento fraguada.

Se diferencias dos estados dentro del fraguado estos son:

- Fraguado inicial.

Este proceso se da desde la adición de agua al cemento, hasta que la pasta pierde su viscosidad y se eleva su temperatura, e indica que el cemento se encuentra parcialmente hidratado y la pasta semi dura.

- Fraguado final.

  Se da desde la adición de agua al cemento hasta que la pasta se vuelve rígida, deja de ser deformable bajo cargas relativamente pequeñas y alcanza el máximo de temperatura, esto quiere decir que el cemento se encuentra hidratado, no en su totalidad.

  Es importante conocer estos tiempos, pues de ellos depende el tiempo que se tiene para poder manipular el hormigón, en las etapas de transporte y colocación, así como también el tiempo para poder iniciar el curado del hormigón.

  Lo que influye en el fraguado del hormigón es:

- La composición química del cemento, la finura del cemento (mientras más finos, mayor es la velocidad de hidratación).

- la cantidad de agua adicionada, dentro de unos límites específicos, el fraguado será más rápido.

Los métodos para determinar los tiempos de fraguado son dos:

- Las agujas de Gillmore.

- La aguja de Vicat consiste en una aguja de 1 mm de diámetro y un peso de 300 gramos, se deja caer la aguja sobre una pasta de consistencia normal a diferentes tiempos.

Cuando la aguja ha penetrado 25 mm se considera que se ha presentado el fraguado inicial y cuando la aguja deja una pequeña marca sobre la pasta sin penetrarla se considera que se ha presentado el fraguado final. Con ello podemos conocer el tiempo en que se presentan los dos tipos de fraguado.

2.2.6. Falso fraguado.

Este fraguado se presenta durante los primeros minutos de mezclado el hormigón, ocurre por la aparición prematura de los cristales del cemento, este es un fenómeno que no perjudica al hormigón, debido a que se soluciona mezclando el hormigón durante más tiempo, con ello se logra que la pasta recupere su plasticidad y fraguado normal, al romperse los cristales formados.

No se debe adicionar agua, pues afectaría a la relación agua – cemento de la mezcla y disminuiría la resistencia. Durante este proceso no existe una evolución de calor.

2.2.7. Resistencia a la compresión.

Esta es una de las propiedades más importantes para el hormigón estructural. La resistencia a la compresión de un hormigón no depende exclusivamente del cemento, es de gran influencia los agregados usados, sin embargo; la cantidad de cemento adicionada si se ve reflejada en la resistencia a la compresión del hormigón.

2.3. Cemento Portland Puzolánico Tipo IP.

Las puzolanas son materiales silíceos – aluminosos naturales o artificiales.

Estos materiales no tienen actividad hidráulica por sí solos, al combinarse con el agua y en combinación con hidróxido de calcio forman compuestos insolubles en agua y estables, los cuales se comportan como conglomerantes hidráulicos.

Estos cementos se los fabrican de tres maneras:

- El proceso de la molienda se realiza al clínker de cemento portland con una puzolana adecuada.

- Mezclando el cemento portland con puzolana.

- O por la combinación de la molienda con el mezclado.

La puzolana representa entre el 15% y el 40% de la masa del cemento.

Los cementos portland puzolánicos tienen ventajas sobre otros cementos portland normales en la durabilidad, estabilidad, calor de hidratación, plasticidad entre otras.

Adicionalmente son más económicos de elaborar, debido a que se evidencia un ahorro en el combustible durante su fabricación.

Las ventajas en el uso de estos cementos son las siguientes:

- Un precio reducido.

- Mejoramiento en la trabajabilidad.

- Disminución en la segregación y en la exudación.

- Menor calor de hidratación, por lo que el fraguado será más lento, y será menos propenso a la fisuración.

- Mejor resistencia a largo plazo.

- Menor permeabilidad.

- Mas durabilidad en la resistencia a los sulfatos y reacciones expansivas.

2.3.1. Cemento Selva Alegre.

Este cemento es Portland Puzolánico Tipo IP, el cual se rige a los requerimientos de la NTE INEN 490 y ASTM C 595.

No se recomienda que este cemento sea almacenado por más de 60 días.



Figura 5. Rugosidad superficial
Fuente: (UNACEM, 2019).

Los requisitos físicos y químicos que cumple este cemento se especifican a continuación.

Tabla 11. Requisitos Químicos cemento SELVALEGRE

PARÁMETRO	SELVALEGRE
Pérdida por calcinación	1.4%
Magnesio (Mg0)	2.3%
Sulfatos (S03)	2.4%

Fuente. (UNACEM, 2019).

Tabla 12. Requisitos Físicos cemento SELVALEGRE

PARÁMETRO	SELVALEGRE
Fraguado inicial	140 min.
Expansión	0.04%
Contenido de aire	4.5%

Fuente. (UNACEM, 2019).

Capítulo III

3. Agua para la elaboración de los hormigones.

El agua que se usó en la elaboración de los hormigones fue agua potable, sin olor o color. Debe cumplir con todas las condiciones y características que cuenta el agua para el consumo humano para que el uso en la elaboración de un hormigón sea viable.

Sin embargo, muchas veces el agua potable puede tener ciertas sustancias perjudiciales para el hormigón no así para el ser humano, de la misma manera en algunos casos el agua que es adecuada para el hormigón no puede ser consumido por el hombre.

El agua en estado natural puede contener diferentes tipos de minerales en su composición, por lo que estos minerales pueden ser perjudiciales para el hormigón causando distintos tipos de daños en el mismo.

Por lo que es muy importante que de no contar con agua potable para la elaboración del hormigón, se debe realizar una caracterización de las propiedades del agua, y de esta manera buscar soluciones que contrarresten los efectos perjudiciales que pueda contener el agua.

En las siguientes tablas se expondrá las tolerancias máximas de impurezas en el agua.

Tabla 13. Máxima concentración de impurezas.

Impurezas	Máxima concentración tolerada
Carbonato de sodio y potasio	1.000 ppm
Cloruro de sodio	20.000 ppm
Cloruro, como Cl (concreto preesforzado)	500 ppm
Cloruro, como Cl (concreto húmedo o con elementos de aluminio, metales similares o galvanizados)	1.000 ppm

Sulfato de sodio	10.000	ppm
Sulfato, como SO_4	3.000	ppm
Carbonato de calcio y magnesio, como ión bicarbonato	400	ppm
Cloruro de magnesio	40.000	ppm
Sulfato de magnesio	25.000	ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2	%
Sales de hierro	40.000	ppm
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500	ppm
Sulfito de sodio	100	ppm
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico	10.000	ppm
Ph	6,0 A 8,0	
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0.5	%
Hidróxido de potasio (por peso de cemento en el concreto)	1.2	%
Azúcar	500	ppm
Partículas en suspensión	2.000	ppm
Aceite mineral (por peso de cemento en el concreto)	2	%
Agua con algas	0	
Materia orgánica	20	ppm
Agua de mar (concentración total de sales para concreto no reforzado)	35.000	ppm
Agua de mar para concreto reforzado o preesforzado	No recomendable	

Fuente: (Guzmán, 2001).

Tabla 14. Ensayos para aceptación de un agua cuestionable en la elaboración de hormigón o mortero.

Ensayo	Límites	Norma
Desviación de los tiempos de fraguado con respecto al testigo (hr:min)	No más temprano de 1:00, ni más tarde de 1:30	Icontec 118
Resistencia mínima a los 7 días de edad con respecto al testigo	90%	Icontec 220

Fuente: (Guzmán, 2001).

3.1. Agua neta de mezclado.

"Está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.

La pasta de cemento, inmediatamente se mezclan los materiales, es una mezcla plástica de cemento y agua que va adquiriendo nueva estructura conforme se produce la hidratación del cemento. Esta nueva estructura es la formación del llamado gel de cemento y la redistribución del agua se encuentra en dos formas básicas, a saber: agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable." (Guzmán, 2001, pág. 57)

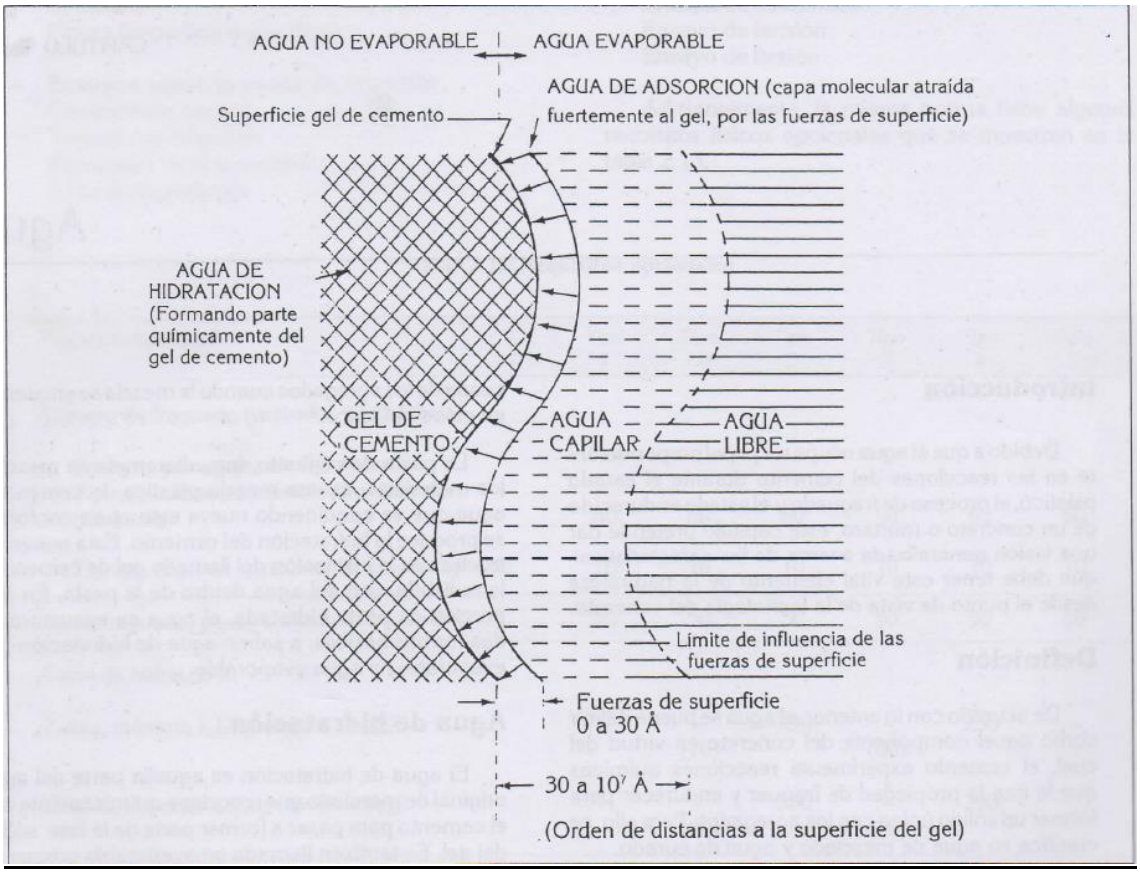


Figura 6. Distribución de los agregaos.
Fuente: (Guzmán, 2001).

- Agua de hidratación o agua no-evaporable.

  Es el agua que forma parte del agua de mezclado y reacciona químicamente con el cemento, de esta manera es la parte solida del gel.

- Agua evaporable.

De acuerdo con la proximidad de esta agua al gel, el agua evaporable puede encontrare en tres formas distintas.

1. Agua de adsorción.

Es el agua que se encuentra a una distancia de 0.0000001 mm del gel, se la denomina “agua activa”, debido a la influencia que tiene con el comportamiento del hormigón cuando se lo somete a carga.

2. Agua capilar.

Esta agua está sujeta débilmente al gel debido a que la distancia a la que se encuentra del mismo es muy grande.

Ocupa los poros capilares de la pasta.

3. Agua libre.

Esta agua ya no se encuentra dentro de las fuerzas de superficie por lo que es fácilmente evaporable, (agua de mezcla que no reacciono químicamente con el cemento).

Podemos entender las dos formas del agua de la siguiente manera.

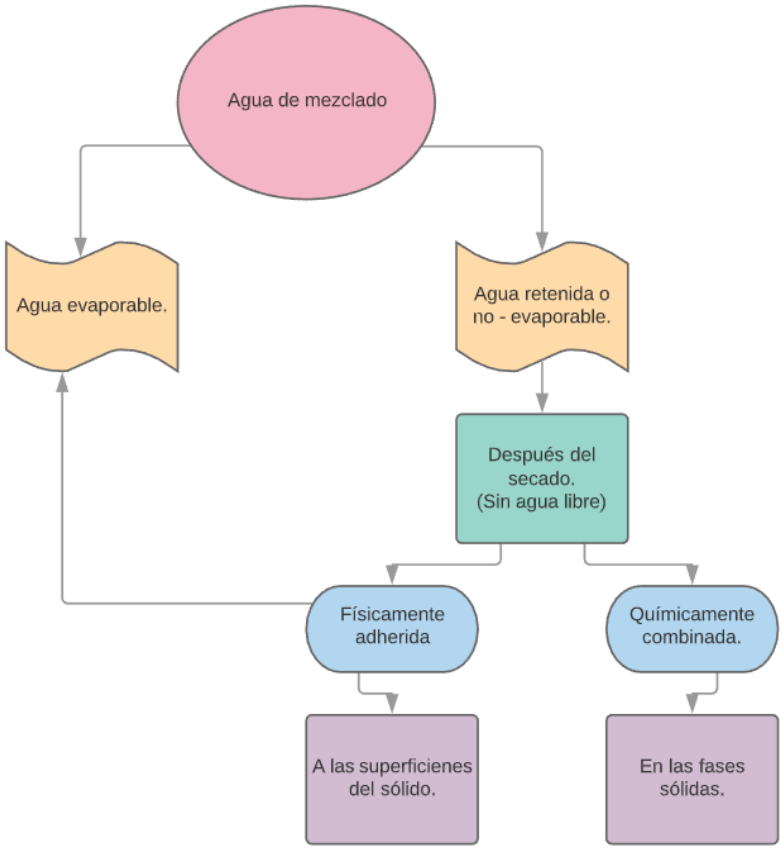


Figura 7. Agua de mezclado.
Fuente: (Barahona 2020).

"Toda agua no – evaporable es agua combinada, pero el opuesto no es verdadero." (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004, pág. 57).

"La cantidad de agua adicionada a la mezcla también controla la durabilidad." (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004, pág. 56).

La porosidad capilar se da cuando la relación agua – cemento es de 0.35. (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004, p. 56).

Para la completa hidratación del cemento portland se necesita una relación agua cemento de 0.4, si esta relación es menor existirán partículas de cemento que no reaccionaron químicamente con el agua, y de ser mayor el agua que no se utilizó en

el proceso químico permanecerá en los poros capilares o se evaporará. Valor tomado de (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004).

En referencia al agua de hidratación se necesita el 23 %, para la completa hidratación del cemento.

$$\frac{Agua\ de\ hidtración\ en\ kg}{Cemento\ en\ Kg} = 0.23$$

Relación tomada de (Guzmán, 2001, pág. 59).

La diferencia entre usar una relación agua – cemento mayor que otra se evidencia en: el volumen de la muestra y la porosidad capilar, estos serán mayor que en una muestra en la que se usó una menor relación agua – cemento, sin embargo; esta última tendrá una mayor resistencia.

Durante el transporte con una relación agua – cemento mayor la muestra será más permeable y difusividad también será mayor, con lo que será más fácil que las substancias perjudiciales ataquen al hormigón.

3.2. Agua de curado.

Esto se refiere a la humedad y a la temperatura que necesita el hormigón para que la pasta de cemento se desarrolle sin interrupciones, hasta que el cemento se hidrate completamente, obteniendo que el hormigón alcance sus propiedades; Es el agua adicional que se necesita para hidratar eficientemente el cemento, una vez que el hormigón esta endurecido; El agua en el hormigón se pierde por diferentes razones como la temperatura del ambiente, el viento entre otras, por lo que es necesario colocar agua de curado para que el hormigón alcance la resistencia para la cual fue diseñado.

3.3. Agua de mar.

Por su característica de salinidad y sulfatos que tiene el agua de mar el hormigón alcanza una mejor resistencia a edades tempranas, sin embargo, disminuye el 15% de resistencia a largo plazo; Por lo que en el libro de Guzmán recomienda elaborar el hormigón no reforzado, con agua de mar, de igual manera es recomendada esta agua para elaboración de hormigones en masa, tomando en cuenta la aparición de manchas producidas por la cristalización de las sales.

En hormigón que se ha de elaborar con acero no se recomienda el uso de agua de mar, en el hormigón reforzado, el uso de agua mar se puede usar cuando sea inevitable, para el hormigón preesforzados el uso de agua de mar sería muy perjudicial, por lo que se debe evitar usar agua de mar en la elaboración de estos hormigones.

El amasado de hormigones con agua de mar, destinados a estar en contacto con agua de mar es perjudicial por lo que se recomienda que este proceso se realice con agua dulce.

Capítulo IV

4. Aditivos.

Los aditivos tienen como primordial objetivo modificar las propiedades de los hormigones en estado fresco sin que esto tenga una repercusión con la resistencia para la que se diseñaron.

En el campo de la ingeniería civil se hace uso de diferentes tipos de aditivos buscando economizar, debido a que el hormigón es el rubro que más extensión tiene a la hora de realizar una obra.

Así como también se usan los aditivos para modificar propiedades específicas de los hormigones cuando tenemos características especiales en un proyecto determinado, por lo que el uso de los aditivos en muchas ocasiones se vuelve indispensable.

Los aditivos se vuelven muy útiles en el momento en que se presenta una emergencia en la obra durante las operaciones de mezclado, colocación y curado, de esta manera es la mejor opción tener a la mano un aditivo que nos ayude a superar cualquier emergencia que se pueda dar.

Para que un aditivo sea eficiente tienen que tomarse en cuenta las siguientes especificaciones:

- Tipo de aditivo.
- Marca del aditivo.
- Cantidad de cemento que usamos en la dosificación.
- Contenido de agua de la mezcla.
- Forma granulométrica de los agregados.
- Proporción de los agregados en la dosificación.
- Tiempo de mezclado.
- Temperatura del concreto.

Se especifican 20 razones para usar aditivos.

1. Para mejorar la trabajabilidad reduciendo el contenido de agua.

2. Lograr la máxima resistencia del hormigón a edades tempranas.

3. Obtener mayores resistencias.

4. Modificar los tiempos del fraguado inicial.

5. Controlar el calor de hidratación.

6. Controlar la exudación del hormigón.

7. Mejorar la respuesta del hormigón a condiciones severas a las que puede estar sometido el hormigón.

8. Disminuir la expansión del hormigón, debido al contenido de ciertas partículas en los agregados.

9. Disminuir la capilaridad del agua.

10. Disminuir la permeabilidad.

11. “Para producir concreto celular.” (Guzmán, 2001)

    Para este tipo de hormigón el aditivo es un espumante, el cual produce que el hormigón elaborado sea poroso.

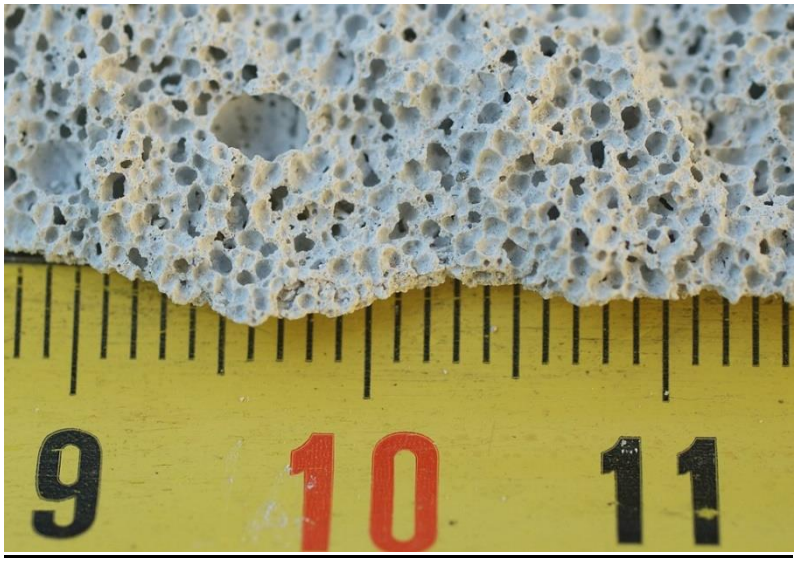


Figura 8. Hormigón celular.
Fuente: (Guzmán, 2001).

12. “Mejorar la penetración y el bombeo.” (Guzmán, 2001)

13. Disminuir el asentamiento.

14. Evitar el asentamiento.

15. Mejorar la adherencia entre el concreto y el acero.

16. Mejorar la adherencia entre concreto viejo y el nuevo.

17. Incluir propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas en el hormigón.

18. Incluir al hormigón un color especifico.

19. “Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión embebidos en el concreto.” (Guzmán, 2001)

20. Disminuir el costo del hormigón.

4.1. Aditivos acelerantes de fraguado.

Estos aditivos aceleran el proceso de fraguado, logrando de esta manera que los hormigones consigan sus resistencias máximas a edades tempranas.

Por lo cual sus principales ventajas son con relación al encofrado, al obtener la resistencia del hormigón a edades tempranas podremos desencofrar en menor tiempo, de la misma manera si la necesidad es cargar a la estructura de solicitaciones en el menor tiempo posible.

Desarrollar la resistencia del hormigón a edades tempranas se puede conseguir de otras maneras, no solo con el uso de aditivos acelerantes de fraguado y las cuales son:

1. Elaborando hormigones con cemento de alta resistencia inicial.

2. Disminuyendo la relación de agua – cemento aumentando la cantidad de cemento.

3. Usando un aditivo reductor de agua.

4. Realizando el proceso de curado del hormigón a altas temperaturas.

El principal compuesto de los aditivos de acelerantes de fraguado es el cloruro de calcio ($Ca\ Cl_2$).

Estos aditivos se deben colocar en forma de líquido como parte del agua de mezcla.

El cloruro de calcio adicionado a la mezcla de hormigón a través del aditivo no puede ser mayor al 2% de la masa del material cementante.

Se debe tener cuidado en el uso de cloruro de calcio cuando se presentan las siguientes condiciones.

- Hormigones que serán curados al vapor.
- Hormigones con metales que estén conectados a la armadura de refuerzo.
- Losas de hormigón en las que el encofrado permanente sean de acero galvanizado.
- Hormigones coloridos.

No se puede usar ningún aditivo que contenga cloruro de calcio cuando se presenten las siguientes condiciones.

- Hormigones que se usen para construir parqueaderos.
- En hormigones pretensados.
- Hormigones que contengan aluminio.
- Hormigones que contengan agregados que después de ser ensayados sean potencialmente reactivos.
- Hormigones que vayan a estar en contacto con suelos o agua que tengan contenidos de sulfatos.
- Durante climas calurosos.
- En concretos masivos.

Podemos clasificar los aditivos acelerantes de fraguado de dos maneras.

1. Por el momento en el que actúa el aditivo, se puede encontrar aditivos que actúan cuando el hormigón se encuentra en estado:

- Fresco.
- Endurecido.
- Aditivos que actúan en los dos estados del hormigón.

Actúan incrementando los hidratos los que modifica la tasa de hidratación del cemento.

2. Por su composición química.

    - Los que tienen cloruro.
    - Los que no tienen cloruro.

Generalmente su composición es de sales orgánicas e inorgánicas, tratándose en la mayoría de los casos de: hidróxidos, cloruros, bromuros, fluoruros, nitritos y nitratos, carbonatos, tiocianatos, sulfatos, tiosulfatos, percloratos, silicatos, aluminatos, ácidos carboxílicos y alcano laminas.

Los acelerantes que contienen cloruros son más eficientes, sin embargo; podrían ocasionar que el acero de refuerzo se corroa. Por lo que se especifican límites de las cantidades de cloruro que pueden tener para no resultar contraproducentes en su uso.

En el mercado podemos encontrar varias marcas de aditivos acelerantes de fraguado, en este estudio se utilizarán dos marcas de aditivos la cuales se especificarán a continuación.

4.1.1. SIKA 3 Y ADITEC FA – 111.

Tabla 14. Aditivos acelerantes de fraguado.

Características:	SIKA 3	ADITEC FA -111
Aditivo	Acción acelerante con control sobre el fraguado.	Acelerante de fraguado y reductor de agua.
Densidad	1.18 (kg/l)	1.0775±0.0075 (g/cm^3)
Ph	------	9 a 10
Color	Verde	Pardo claro
Estado	Líquido	Líquido
Contiene Cloruros	SI	SI

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla 14 a. Requisitos físicos de los aditivos.

	Type A, Water-Reducing	Type B, Retarding	Type C, Accelerating	Type D, Water-Reducing and Retarding	Type E, Water-Reducing and Accelerating	Type F, Water-Reducing, High-Range	Type G, Water-Reducing, High-Range and Retarding	Type S Specific Performance
Water content, max, % of reference[A]	95	...	...	95	95	88	88	...
Time of setting, allowable deviation from reference, h:min:								
Initial: at least	...	1:00 later	1:00 earlier	1:00 later	1:00 earlier	...	1:00 later	
not more than	1:00 earlier nor 1:30 later	3:30 later	3:30 earlier	3:30 later	3:30 earlier	1:00 earlier nor 1:30 later	3:30 later	1:00 earlier nor 1:30 later
Final: at least	...	...	1:00 earlier	...	1:00 earlier	...	...	
not more than	1:00 earlier nor 1:30 later	3:30 later	...	3:30 later	...	1:00 earlier nor 1:30 later	3:30 later	1:00 earlier nor 1:30 later
Compressive strength, min, % of reference:[C]								
1 day	...	...	...	...	...	140	125	...
3 days	110	90	125	110	125	125	125	90
7 days	110	90	100	110	110	115	115	90
28 days	110	90	100	110	110	110	110	90
	(120)[D]			(120)[D]		(120)[C]	(120)[D]	
90 days	(117)[D]	n/a	n/a	(117)[D]	n/a	(117)[C]	(117)[D]	n/a
6 months	100	90	90	100	100	100	100	90
	(113)[D]			(113)[D]		(113)[C]	(113)[D]	
1 year	100	90	90	100	100	100	100	90
Flexural strength, min, % reference:[C]								
3 days	100	90	110	100	110	110	110	90
7 days	100	90	100	100	100	100	100	90
28 days	100	90	90	100	100	100	100	90
Length change, max shrinkage (alternative requirements):[E]								
Percent of reference	135	135	135	135	135	135	135	135
Increase over reference	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Relative durability factor, min % of reference[F]	80	80	80	80	80	80	80	80

Fuente: (ASTM C -494, 2019).

El acelerante SIKA 3 es un acelerante tipo 3 y el acelerante ADITEC FA – 111 es un acelerante tipo E, con las especificaciones que se pueden observar de la tabla 14 a extraída de la ASTM C 494, los requisitos de porcentajes de aceleración de resistencia a la compresión de los dos tipos de aditivos son similares, lo que hace que la comparación trabajada en este proyecto de investigación sea realizable.

Capítulo V

5. Dosificación.

Para elaborar un hormigón debemos realizar la mezcla de agregado grueso, agregado fino, cemento y agua, la pregunta es en que cantidades debemos agregar cada uno de estos materiales para conseguir la mezcla más optima.

Al mezclar los materiales en distintas cantidades conseguimos hormigones con diferentes propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Para la elaboración los cilindros de hormigones objeto de este proyecto de investigación, en el mismo laboratorio con las mismas maquinas e incluso el mismo operador no debemos preocuparnos de otros factores que también ocasionan que las propiedades mecánicas de los hormigones varíen, como lo son temperatura, humedad relativa, entre otros factores.

Previo al proceso de dosificación se analizaron los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a todos los componentes que conforman un hormigón, para de esta manera encontrar las proporciones óptimas para la elaboración del hormigón.

Para realizar la comparación entre los dos aditivos escogidos, se fabricó una muestra patrón tomando en cuenta el diseño óptimo para las resistencias planteadas las cuales son 210 $\frac{kg}{cm^2}$ con una relación agua – cemento de 0.4276 y 280 $\frac{kg}{cm^2}$ con una relación agua – cemento de 0.3844. Con este diseño se elaborará hormigón el cual estará modificado con las diferentes marcas de aditivos.

- Al tratarse de un proyecto de investigación la resistencia para la que se diseñan el hormigón utilizado en este proyecto es una resistencia específica

y no como debería ser para un trabajo de carácter técnico en donde la resistencia requerida debe ser mayor.

El objetivo de la dosificación o el diseño de la mezcla es aprovechar las propiedades y características de los materiales que se van a usar, con ello obtener un hormigón económico, eficiente y productivo.

"El diseño, en el sentido estricto de la palabra, no es posible, debido a que los materiales son esencialmente variables y muchas de sus propiedades no pueden ser tasadas con exactitud en forma cuantitativa. Por lo cual es necesario hacer mezclas de prueba para revisar y ajustar las proporciones de los materiales." (Guzmán, 2001)

Por lo que el diseño de la mezcla óptima de hormigón consiste en un proceso de prueba y error, en donde se debe ir reajustado los cálculos, dependiendo de cada resultado que obtengamos con los hormigones en cada uno de los intentos, hasta conseguir el hormigón que satisfaga las propiedades que necesitamos.

Existen varios métodos de dosificación los cuales se pueden aplicar para el diseño del hormigón, el usado en este trabajo fue el ACI 211.1 modificado.

5.1. Método de densidad máxima de los agregados.

Es un método desarrollado dentro del laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Central del Ecuador por el ingeniero Raúl Camaniero. El cual consiste en determinar los porcentajes óptimos de vacíos que deberán ser llenados con pasta (cemento y agua). El fundamento de este método consiste en que el agregado grueso tiene un contenido de vacíos el cual debe ser llenado por el agregado fino. Una vez que se mezcla el agregado grueso con el agregado fino queda un porcentaje de vacíos el cual debe se llenado por pasta (agua y cemento).

Para la realización de este método debemos tener los datos de: densidad real, densidad aparente, peso suelto y compactado, capacidad de absorción, contenido de

humedad y densidad aparente compactada de la mezcla optima de agregados y la densidad real o absoluta del cemento.

Dentro de este método se aplica un ensayo para determinar la cantidad óptima de agregado grueso y fino, procedimiento que se realizó para determinar el porcentaje de uso de los agregados.

5.2. Diseño de los hormigones.

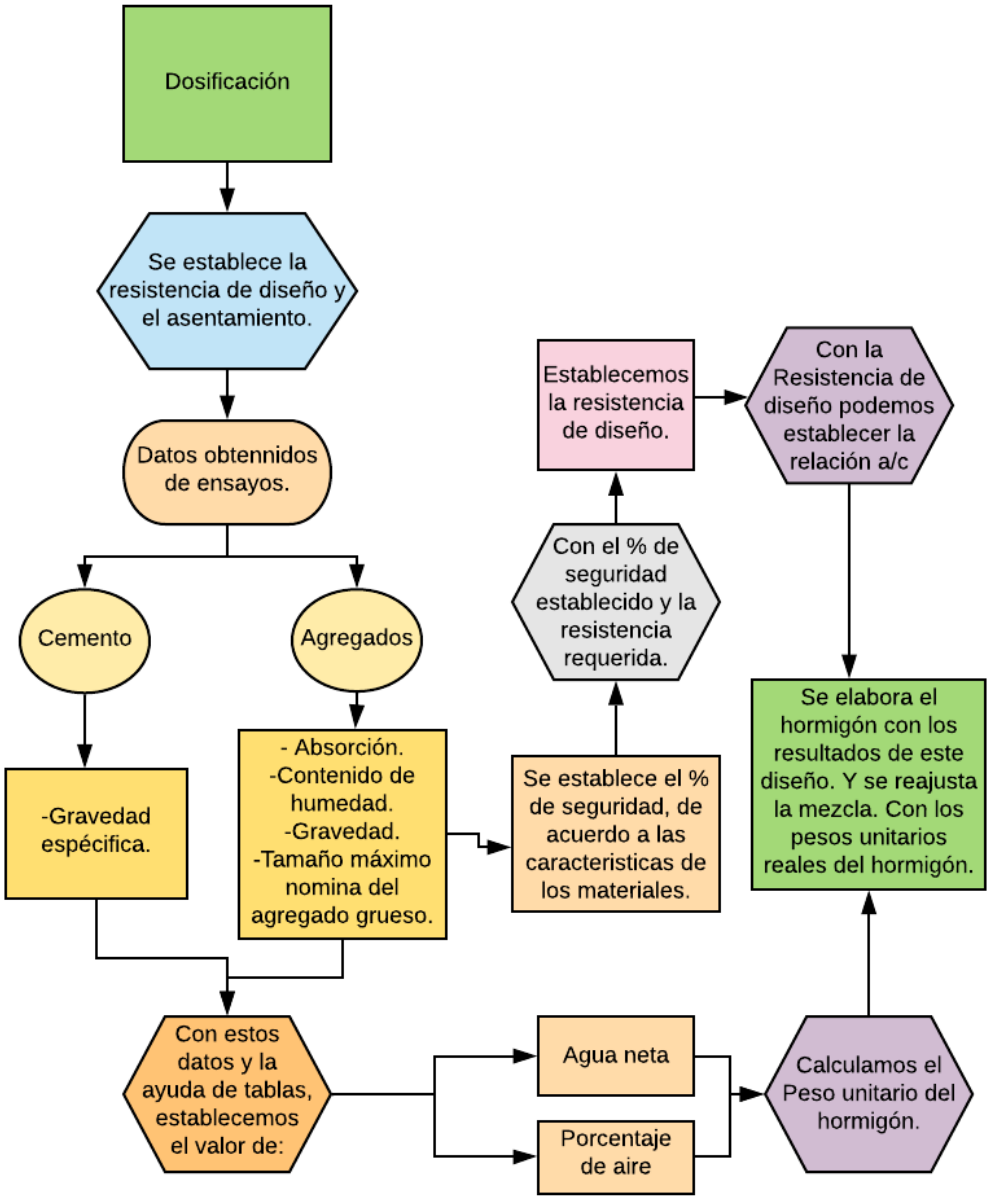


Figura 9. Resumen de para diseñar hormigón.
Fuente: (Barahona, 2020).

Con respecto a los aditivos, se tomó en cuenta las recomendaciones de los fabricantes, para el aditivo SIKA 3 se usó el 1.65% del peso del cemento de cada

una de las mezclas y para el aditivo ADITEC FA – 111 se usó el 1.24%. Considerando que con estas cantidades el hormigón adquiriría la resistencia de los 28 días en 7 días. Es importante señalar las recomendaciones del aditivo SIKA 3, la hoja técnica del producto especifica realizar ensayos previos con los materiales a usarse en la elaboración del hormigón. Esto es consistente con la parte teórica la cual afirma que al ser un producto químico el aditivo reaccionara de diferente forma con cada material pétreo, debido a las diferentes composiciones de los agregados.

Las recomendaciones de cantidad de uso de los aditivos usados en este trabajo de investigación dadas por los fabricantes de estos productos no son valores exactos, son rangos de valores, en los que se especifica que se debe encontrar la cantidad entre estos rangos que se adecue a los materiales y necesidades del hormigón que deseamos elaborar.

Capítulo VI

6. Mezclado.

Para el mezclado se debe utilizar una mezcladora cuya capacidad mínima será de un saco de cemento, el mezclado mínimo será de 90 segundos y como máximo de 5 minutos.

El orden de ingreso de los materiales dentro de la mezcladora fue la siguiente:

- Con la ayuda de una franela humedecida, se limpia la concretera, con la finalidad de extraer partículas que se hayan adherido a las paredes de la concretera, y de esta manera ocasionar daño en el diseño de la mezcla de hormigón.

- A continuación, se coloca una pequeña cantidad de agua de mezclado.

- Se agregó el agregado grueso, con la ayuda del agua que se colocó, el agregado grueso se “lava”, con este proceso las partículas de agregado fino que están adheridas al agregado grueso se desprenden, de esta manera se garantiza una mejor adherencia entre los agregados y la pasta.

- Se colocó el agregado fino.

- Colocamos el resto de agua de mezcla en la concretera y dejamos que los agregados se hidraten completamente.

- Finalmente se coloca el cemento y dejamos que se mezclen todos los componentes del hormigón.

14.1. Propiedades del hormigón fresco.

Se considera que el hormigón se encuentra en estado fresco el tiempo que trascurre entre el mezclado y cuando inicia el fraguado del cemento; Las propiedades del hormigón en estado fresco determinaran las propiedades del hormigón en estado endurecido; Por lo que es importante especificar y reconocer la relación de las propiedades en estado fresco y en estado endurecido.

1. Manejabilidad.

   A la manejabilidad se la conoce también como trabajabilidad.

   Esta propiedad depende de la facilidad de:

   - Colocación.

   - Consolidación.

Se refiere a la compactación del hormigón en estado fresco con la finalidad de eliminar el aire que contiene, y de esta manera evitar los factores perjudiciales como son baja resistencia, menor durabilidad entre otras.

- Acabado.

Y del grado que resiste a la segregación.

La segregación es la distribución que tienen los componentes del hormigón una vez amasado.

Tomando como referencia el libro de Diseño y control de mezclas de control, los factores que influyen en la trabajabilidad son los siguientes.

- De qué manera y que tiempo se demora el hormigón en ser transportado al lugar en donde se va a colocar.

- La proporción y la calidad del cemento que se haya usado en el diseño de la mezcla.

- La consistencia del hormigón, la cual depende del asentamiento y del revenimiento.

- El tamaño, forma y textura superficial de los agregados.

- El aire incluido en el hormigón.

Este aire es eliminado a través del proceso de compactación del hormigón.

Se considera que para que exista un alto contenido de aire en el hormigón se deben presentar una o varias de las situaciones que se mencionaran a continuación.

- ❖ Poco contenido de cemento en la mezcla.
- ❖ Agregados con tamaño máximo menor.
- ❖ Gran cantidad de arena.
- ❖ Consistencias húmedas.
- ❖ Proceso de mezclado fuerte o prolongado.
- ❖ Incluir aditivos incorporadores de aire.

Tabla 15. Compuestos del cemento portland

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de aire naturalmente atrapado (promedio) %	Contenido de aire total recomendable (atrapado + incorporado) %
mm	pulg.	%	%
9.51	⅜	3	4.5 - 7.5
12.5	½	2.5	4.0 - 7.0
19.1	¾	2	3.5 - 6.0
25.4	1	1.5	3.0 - 6.0
38.1	1½	1	2.5 - 5.5
50.8	2	0.5	2.0 - 5.0
76.1	3	0.3	1.5 - 4.5
152.0	6	0.2	1.0 - 4.0

Fuente: (Guzmán, 2001)

- Cantidad de agua usada.

Es el principal parámetro que determina la manejabilidad de una mezcla. El objetivo del agua en la mezcla es hidratar a las partículas de cemento (agua de hidratación), y producir la pasta (agua evaporable).

- Temperatura del concreto y del aire.
- Aditivos.

2. Consistencia.

La consistencia se refiere así la mezcla es fluida o rígida cuando se encuentra en estado plástico.

El método que nos ayuda a determinar la consistencia del hormigón es el revenimiento o el asentamiento.



Figura 9. Hormigón con consistencia fluida, alto valor de asentamiento.
Fuente: (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004)

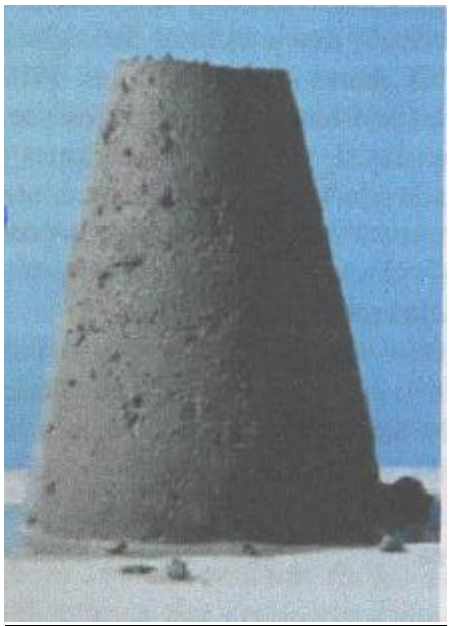


Figura 10. Hormigón con consistencia rígida, bajo valor de asentamiento.
Fuente: (Kosmatka, Kerkhoff, & Tanasi, 2004)

Los ensayos más usados para determinar la consistencia de un hormigón son el de cono de Abrams y el de penetración con la esfera de Kelly para determinar la docilidad.

La docilidad, se refiere a la facilidad que presenta el hormigón para eliminar el aire incluido.

Tabla 16. Consistencia del Hormigón según su Asentamiento.

Asentamiento cm	Calificación de la Mezcla
0 a 2	Hormigón muy seco, difícil de trabajar, a menos que sea una mezcla rica en cemento.
3 a 5	Hormigón con muy poca humedad, solo se puede manipular por medios mecánicos y compactar con vibradores de alta frecuencia.
6 a 8	Hormigón plástico, adecuado para la mayoría de las obras. Se compacta por vibración y si está bien dosificada no habrá segregación.
9 a12	Hormigón húmedo, adecuado para estructuras densamente armadas, formas complicadas y secciones delgadas. Usualmente empleado para hormigón bombeado. Hay que cuidar la segregación.
13 a 16	Hormigón muy húmedo, se puede aceptar si se han empleado aditivos plastificantes y se verifica que no haya segregación.
Mayor a 16	Hormigón muy fluido. El ensayo en el cono de Abrams ya no tiene significado. Solo se puede admitir con el empleo de supe fluidificantes (Hormigón autonivelante o autocompactante).

Fuente: (Camaniero, s.f).

3. Plasticidad.

Es un estado de consistencia plástica del hormigón, en donde su característica es que cambie lentamente de forma cuando se retire el molde. Por lo que el hormigón es fácil de moldear.

4. Segregación.

Esta propiedad depende de la cohesión, la cual es la capacidad de mantener al hormigón en estado plástico y sin segregación, depende de la cantidad de agua y del grado de consistencia.

La segregación es la separación de los componentes del hormigón.

Se puede dar la segregación de dos maneras diferentes las cuales son:

- La que generalmente ocurren en mezclas secas, en donde las partículas más grandes del agregado se asientan producto de la gravedad.

- Y la que generalmente ocurre en mezclas "aguadas" en donde la pasta cementante se separa del resto de los componentes del hormigón.

5. Exudación.

También llamado sangrado, ocurre durante el proceso de fraguado o cuando se coloca el hormigón, es el agua que se eleva a la superficie debido a que las partículas no pueden retener toda el agua que contiene la mezcla cuando se asientan.

Es importante tener en cuenta la cantidad de agua de exudación, así como también la velocidad de esta, "si la velocidad de evaporación es menor que la velocidad de exudación, se forma una película de agua que aumenta la relación agua-cemento en la superficie, que posteriormente queda porosa y con baja resistencia al desgaste. Por otro lado, si la velocidad de evaporación

es mayor que la velocidad de exudación se producir grietas de contracción plástica.” (Guzmán, 2001)

6. Homogeneidad.

Es la propiedad que determina que todas las partículas se encuentres repartidas equitativamente.

Es importante que esta propiedad se mantenga durante el proceso de amasado, transporte y colocación. Para obtener un hormigón con propiedades físicas y mecánicas homogéneas en toda la masa del hormigón.

Esta propiedad depende de la exudación y de la segregación.

Los factores que influyen son:

- La adherencia de la pasta de cemento con los agregados.
- La granulometría de los agregados.
- El tiempo de mezclado del hormigón.

14.2. Propiedades del hormigón endurecido.

1. Resistencia a la compresión.

Es determinada por la relación agua cemento.

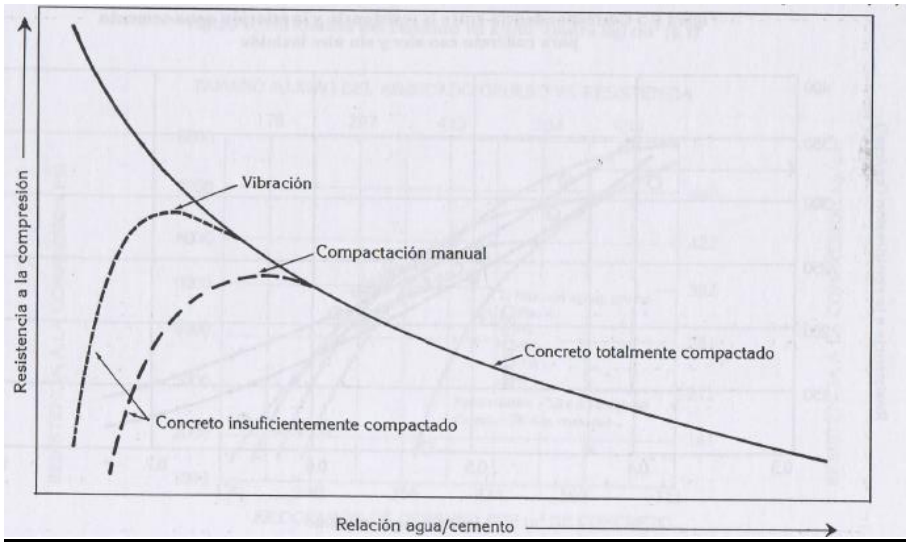


Figura 11. Hormigón con consistencia rígida, bajo valor de asentamiento.
Fuente: (Guzmán, 2001)

Depende de la resistencia de los agregados y de la interacción de los agregados con la pasta.

Por lo que en resumen estas resistencias y su interacción son las que rigen la resistencia del hormigón, basándonos en el libro de Diego Sánchez de Guzmán.

- La resistencia de la pasta hidratada y endurecida.
- La resistencia de las partículas del agregado.
- La resistencia de la interfase matriz – agregado.

2. Resistencia característica.

La resistencia característica tiene un valor menor a la resistencia media que se obtiene en un conjunto de cilindros de hormigón. Esta resistencia se refiere al porcentaje de probabilidad de obtener este valor al usar la misma dosificación,

Es la media estadística, que obtenemos de la resistencia media de un conjunto de probetas, tomando en cuenta la desviación estándar.

Por lo que el ACI nos proporciona formulas a emplear en el cálculo de la resistencia característica, basadas en el grado de confiabilidad.

- Para el 90% de confiabilidad:

$$f´ck = f´cm - 1.28\ \delta$$

- Para el 95% de confiabilidad:

$$f´ck = f´cm - 1.36\ \delta$$

Donde:

$$f´ck: Resistencia\ característica$$

$$f´cm: Resistencia\ media$$

$$\delta: Desviación\ estandar$$

3. Módulo de elasticidad.

Para determinar el módulo de elasticidad de un hormigón se realiza una gráfica de esfuerzo vs deformación específica, en esta gráfica se pude observar 3 puntos principales.

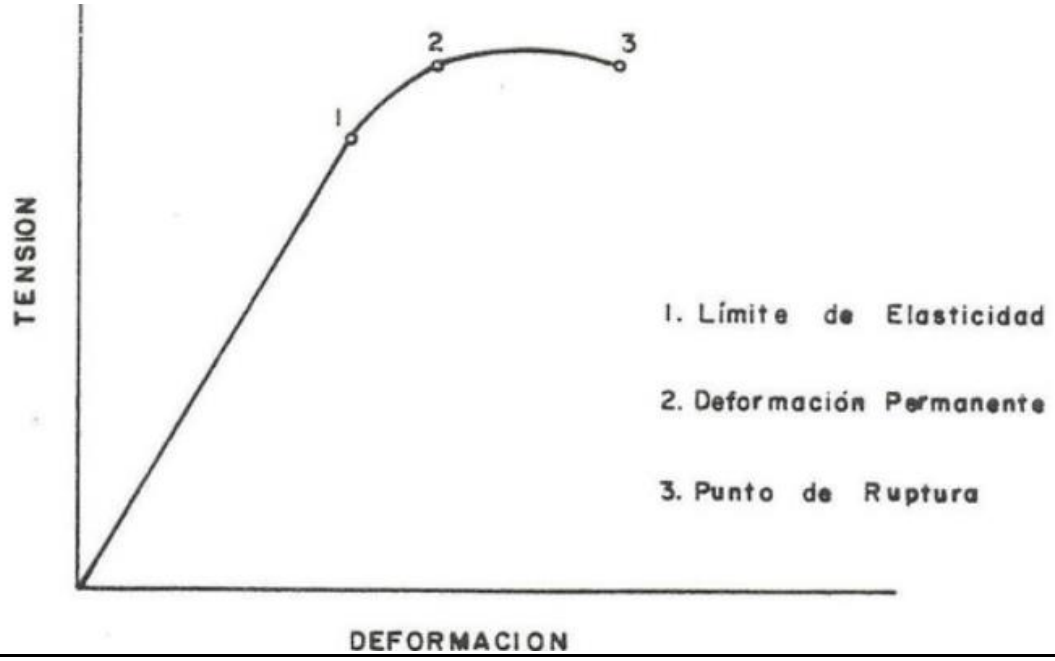


Figura 12. Gráfica esfuerzo vs deformación especifica.
Fuente: (Osorio, 2018)

El módulo de elasticidad es la pendiente de la gráfica en la zona lineal, es decir hasta el límite de elasticidad.

Nos indica cuanto puede deformarse un hormigón especifico bajo esfuerzos externos, dentro del rango lineal, el cual se encuentra hasta el punto 1 de la gráfica. En esta grafica podemos observar que después del punto 1 la deformación del material ya no es lineal, por lo que será una deformación permanente. Para después llegar a la rotura.

Conocer esta propiedad mecánica del hormigón es de suma importancia, con ello podremos determinar las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura.

- Cálculo del módulo de elasticidad.

  Para el cálculo del módulo de elasticidad el ACI – 318 en el capítulo 19 plante dos fórmulas las cuales son las siguientes:

(a) Para valores de wc (densidad, peso unitario del concreto) entre 1440 y 2560 kg/m3.

$$Ec = wc^{1.5} * 0.043 * \sqrt{f'c} \ (en\ MPa)$$

(b) Para concreto de peso normal.

$$Ec = 4270 * \sqrt{f'c} \ (en\ kg/cm2)$$

Para realizar el cálculo del módulo de elasticidad en laboratorio de una probeta de hormigón, debemos tener la gráfica de esfuerzo vs deformación específica, a partir de ella tomaremos los datos que nos permitirán aplicar las siguientes ecuaciones.

$$E = \frac{40\%\ \tau_{máx} - \tau_{0.00005}}{\varepsilon_{40\%\ \tau_{máx}} - 0.00005}$$

Donde:

$$E: Módulo\ de\ elasticidad\ (Mpa)$$

$$40\%\ \tau_{máx}: El\ valor\ correspondiente\ al\ 40\%\ del\ esfuerzo\ máximo\ de\ la\ probeta.$$

$$\tau_{0.00005}: Esfuerzo\ correspondiente\ a\ la\ deformación\ de\ 0.00005.$$

$$\varepsilon_{40\%\ \tau_{máx}}: Deformación, producida\ por\ el\ 40\%\ \tau_{máx}$$

Tomamos en cuenta la formula general del módulo de elasticidad.

$$E = \lambda * \sqrt{f'c}$$

Al despejar landa obtenemos la siguiente formula:

$$\lambda_2 = \frac{E}{\sqrt{f'c}}$$

Landa se puede calcular de dos formas.

El ACI plantea la siguiente formula en donde se toma en cuenta el peso unitario de la probeta.

$$\lambda_1 = ¥ * \delta^{1.5}$$

Donde:

$$\delta: Peso\ unitario$$

Estas dos expresiones nos ayudan a verificar que el cálculo del módulo es correcto.

Capítulo VII

7. Metodología de experimentación.

1. Curado de muestras.

Los cilindros fueron colocados en la cámara de curado del laboratorio de la PUCE, el cual cuenta con la temperatura y humedad necesarios para mantener a los especímenes húmedos e impedir que estos se agrieten producto de la perdida de humedad de los cilindros.

Todos los cilindros fueron desencofrados después de 24 horas, e inmediatamente colocados en la cámara de curado hasta el día de su ensayo, por lo que los cilindros de 3 días estuvieron dentro de la cámara de curado 2 días, los cilindros ensayados a los 7 días estuvieron en la cámara de curado 6 días y los cilindros que fueron ensayados a los 28 días estuvieron en la cámara de curado durante 27 días.

2. *Aditivos.*

Se uso diferentes porcentajes de aditivo para cada uno de los aditivos que se plantean en esta tesis. Esto con la finalidad de comparar como se desarrolla la resistencia de los hormigones a través del tiempo, en hormigones de diferentes resistencias basándonos en las recomendaciones que nos da el fabricante.

Capítulo VIII

8. Datos obtenidos mediante ensayos en el laboratorio.

1. *Agregados.*

a. *Características físicas.*

- Contenido de humedad.

Agregado fino.

Tabla17. Contenido de humedad del agregado fino.

Agregado Fino	Muestra #1	Muestra #2	Muestra #3
	Bandeja	Bandeja	Bandeja
	g	g	g
	3,86	3,95	3,88
Promedio del % de Humedad	3,90		

Fuente: (Barahona, 2020).

Agregado grueso.

Tabla 18. Contenido de humedad del agregado grueso.

Agregado Grueso	Muestra #1	Muestra #2	Muestra #3
	Bandeja	Bandeja	Bandeja
	g	g	g
	0,23	0,28	0,38
Promedio del % de Humedad	0,30		

Fuente: (Barahona, 2020).

- Se considera, que el agregado grueso en su estado natural se encuentra seco.

- Granulometría.

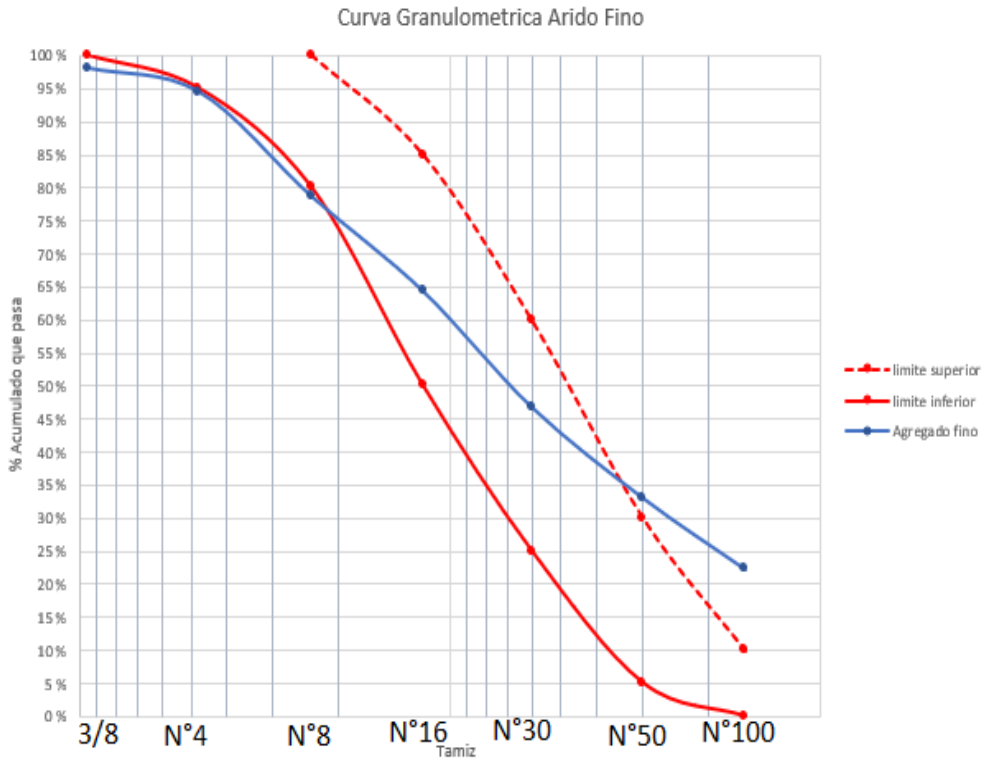
Agregado fino

Tabla 19. Granulometría promedio Agregado fino.

Malla		% Pasante	Límites especificados NORMA: INEN 872-1	
No.	mm	%	%	
3/8 plg	9,51	98,1	100	100
4	4,76	94,5	95	100
8	2,36	78,7	80	100
16	1,18	64,4	50	85
30	0,6	46,8	25	60
50	0,3	33,1	5	30
100	0,159	22,3	0	10
200		13,6		

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica 1. Granulometría promedio agregado fino.



Fuente: (Barahona, 2020).

Esta curva representa el promedio de dos ensayos de granulometría, los resultados de los ensayos individuales se presentan en el anexo B.

RESUMEN

Tabla 20. Resumen granulometría Agregados Finos.

N° De Ensayos	Módulo de Finura	Curva Granulométrica
1	2,53	No está dentro de los límites
2	2,71	No está dentro de los límites
Promedio	2,62	CUMPLE

Fuente: (Barahona, 2020).

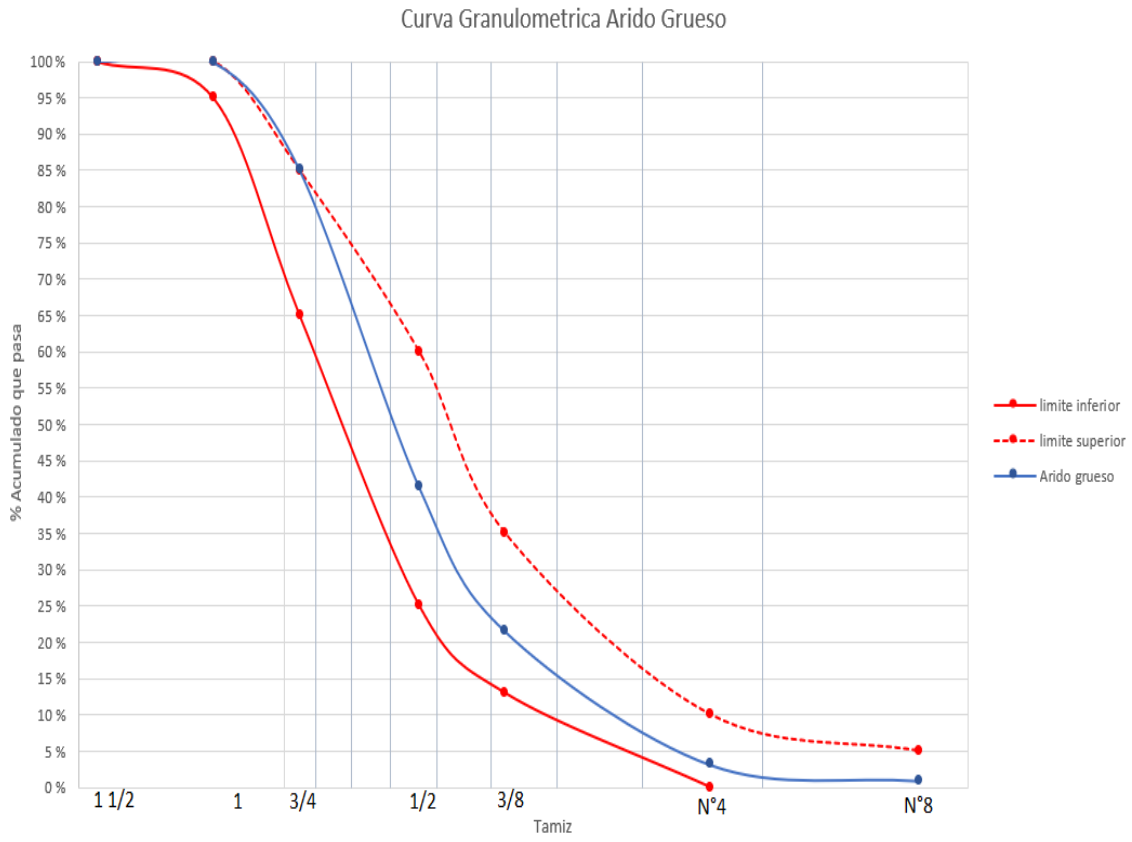
Agregado grueso.

Tabla 21. Granulometría promedio Agregado grueso.

Malla #		% Pasante	Límites especificados NORMA: INEN 872-1	
plg	Mm	%	%	
1 1/2	37,5	100,00	100	100
1	25,4	99,86	95	100
3/4	19	85,04	65	85
1/2	12,7	41,38	25	60
3/8	9,51	21,55	13	35
No. 4	4,76	3,16	0	10
No. 8	2,36	0,96	0	5

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica 2. Granulometría promedio agregado grueso.



Fuente: (Barahona, 2020).

Este resultado es el promedio de dos ensayos los que se pueden observar en el anexo B.

RESUMEN

Tabla 22. Resumen granulometría Agregados Gruesos.

N° De Ensayos	Módulo de Finura	Tamaño Máximo Nominal	Curva Granulométrica
1	6,86	¾	Está dentro de los límites
2	6,93	1	Está dentro de los límites
Promedio	6,895		

Fuente: (Barahona, 2020).

- Material más fino que pasa el tamiz N°200.

Tabla 23. Material fino que pasa el tamiz N°200 agregado fino.

# DE ENSAYOS	% de material que pasa el tamiz # 200	Requisito de las Normas INEN Y MOOP
1	19,3	% Total MÁXIMO
2	19,1	5
Promedio	19,2	NO CUMPLE

Fuente: (Barahona, 2020).

❖ No se realizó este ensayo para el agregado grueso, debido a que el material que pasa el tamiz número 8 es del 0.696% por lo que se asume que la cantidad que pasa por el tamiz número 200 no afectaría a las características del hormigón.

- Densidad de los agregados.

Agregado fino.

Tabla 24. Densidad del agregado fino.

Muestra seca		
Densidad relativa	2,28	
Densidad	2276,39	kg/m^3
Muestra en estado seco con superficie Seca		
Densidad relativa	2,45	
Densidad	2440,07	kg/m^3
Aparente		
Densidad Relativa aparente	2,73	
Densidad aparente	2723,25	kg/m^3

Fuente: (Barahona, 2020).

Agregado grueso.

Tabla 25. Densidad del agregado grueso.

Muestra seca		
Densidad relativa	2,42	
Densidad	2413,29	kg/m^3
Muestra en estado seco con superficie Seca		
Densidad relativa	2,49	
Densidad	2488,44	kg/m^3
Aparente		
Densidad Relativa aparente	2,62	
Densidad aparente	2609,93	kg/m^3

Fuente: (Barahona, 2020).

- Absorción.

Tabla 26. Absorción de los agregados.

Agregado	Absorción %
Fino	7,2
Grueso	3,11

Fuente: (Barahona, 2020).

- Peso unitario de los agregados.

Tabla 27. Peso unitario de los agregados.

Masa unitaria o Peso volumétrico		
Estado del Material	Agregado Grueso	Agregado fino
Compacta (g/cm3)	1,45	1,81
Suelta (g/cm3)	1,37	1,76

Fuente: (Barahona, 2020).

b. Características mecánicas de los materiales.

- Dureza.

Tabla 28. Abrasión agregado grueso.

ÁRIDO GRUESO MINA PÉREZ		Requisito de las Normas INEN Y MOOP
		% MÁXIMO EN MASA
		50
Degradación	52,50%	NO CUMPLE

Fuente: (Barahona, 2020).

c. Sustancias perjudiciales.

Tabla 29. Terrones de arcilla agregado fino.

Árido Fino		
Pérdida de masa	Límite norma NTE INEN 872:2011 y MOP-001F	Conclusión
%		Cumple
2,5	3%	

Fuente: (Barahona, 2020).

d. Desgaste químico.

Agregado fino.

Tabla 30. Resistencia al sulfato agregado fino.

Árido Fino		
Pérdida de masa	Límite norma NTE INEN 872:2011 y MOP-001F	Conclusión
%		Cumple
8,2	10%	

Fuente: (Barahona, 2020).

Agregado grueso.

Tabla 31. Resistencia al sulfato agregado grueso.

Árido Grueso		
Pérdida de masa	Límite norma NTE INEN 872:2011 y MOP-001F	Conclusión
%		Cumple
9,95	18%	

Fuente: (Barahona, 2020).

2. *Cemento.*

a. *Consistencia normal del cemento.*

Tabla 32. Consistencia normal del cemento.

Consistencia Normal del Cemento	27,69	%

Fuente: (Barahona, 2020).

b. *Tiempo de fraguado del cemento selva alegre.*

Tabla 33. Tiempo de fraguado del cemento.

Tiempo de fraguado del Cemento		
Tiempo de fraguado		Unidad
INICIAL	176,5	min
FINAL	315	min

Fuente: (Barahona, 2020).

c. *Gravedad específica del cemento.*

Tabla 34. Densidad del cemento SELVALEGRE.

Densidad del cemento SELVALEGRE	2,995	g/cm^3

Fuente: (Barahona, 2020).

3. *Dosificación.*

- Densidad óptima de los agregados.

Tabla 35. Densidad óptima de los agregados.

DENSIDAD ÓPTIMA DE LOS AGREGADOS		
AGREGADOS		Densidad aparente
FINO	GRUESO	
%		g/cm^3
45	55	1,97

Fuente: (Barahona, 2020).

4. *Hormigón endurecido.*

- Resistencia a la compresión.

Tabla 36. Resistencias a la compresión promedio de los cilindros por edades.

Resistencia a la compresión kg/cm2						
Edades	SIN ADITIVO		ADITEC FA-111		SIKA3	
	Relación a/c		Relación a/c		Relación a/c	
	0,4276	0,3844	0,4276	0,3844	0,4276	0,3844
3	106,05	139,03	144,67	167,63	149,09	168,76
7	147,53	193,92	191,42	215,72	208,77	241,17
28	230,80	289,55	261,64	334,59	271,86	352,07

Fuente: (Barahona, 2020).

- Resistencias características.

Tabla 37. Resistencias características de los cilindros por edades.

Resistencia característica kg/cm2						
Edades	SIN ADITIVO		ADITEC FA-111		SIKA3	
	Relación a/c		Relación a/c		Relación a/c	
	0,4276	0,3844	0,4276	0,3844	0,4276	0,3844
3	101,81	130,41	141,60	150,37	144,59	161,61
7	140,89	186,17	181,34	206,93	198,17	228,59
28	227,11	284,19	239,61	308,14	268,07	340,06

Fuente: (Barahona, 2020).

- Módulo de elasticidad.

Tabla 38. Parámetros para el cálculo de módulo de elasticidad.

Módulos de elasticidad						
Probetas ensayadas a los 28 días.	Relación a/c 0,4276					
	Sin aditivo		Aditec FA-111		SIKA 3	
# De probeta	11	12	26	27	43	44
Peso unitario [δ] (T/m3)	2,27	2,25	2,30	2,22	2,26	2,30
$\alpha 1 = 4270 * (\delta)^{1,5}$						
α_1 (Calculado con ACI)	14566	14375	14906	14168	14542	14893
$\alpha 1$ (Promedio)	14470		14537		14718	
$\alpha 2$ = Módulo de elasticidad / $\sqrt{F'c\ máx}$						
$\alpha 2$ (Determinado en el laboratorio)	14229	14174	14628	14116	14314	14711
$\alpha 2$ (Promedio)	14202		14372		14513	
$\lambda = \alpha 2 / (\delta)^{1,5}$						
λ (Calculado en el laboratorio)	4171	4210	4190	4254	4203	4218
λ (Promedio)	4191		4222		4210	
$ME = (0,4 * T_{máx} - T_{0,00005}) / (\varepsilon_{0,4*Tmáx} - 0,00005)$						
Módulo de elasticidad (kg/cm2)	209946	208833	209946	219507	220913	215865
Promedio (kg/cm2)	209389		214726		218389	
Relación a/c 0,3844						
# De probeta	56	57	73	74	86	87
Peso unitario [δ] (T/m3)	2,23	2,26	2,27	2,27	2,29	2,33
$\alpha 1 = 4270 * (\delta)^{1,5}$						
α_1 (Calculado con ACI)	14203	14537	14568	14560	14801	15215
$\alpha 1$ (Promedio)	14370		14564		15008	
$\alpha 2$ = Módulo de elasticidad / $\sqrt{F'c\ máx}$						
$\alpha 2$ (Determinado en el laboratorio)	14195	14342	14488	14443	14595	14698
$\alpha 2$ (Promedio)	14269		14465		14646	
$\lambda = \alpha 2 / (\delta)^{1,5}$						
λ (Calculado en el laboratorio)	4268	4213	4247	4236	4210	4125
λ (Promedio)	4240		4241		4168	
$ME = (0,4 * T_{máx} - T_{0,00005}) / (\varepsilon_{0,4*Tmáx} - 0,00005)$						
Módulo de elasticidad (kg/cm2)	227001	226826	250561	227997	235069	225021
Promedio (kg/cm2)	226914		239279		230045	

λ (Promedio de todos los cilindros)	4212

Fuente: (Barahona, 2020).

9. Comparación de la caracterización de agregados utilizados con la norma NTE INEN 872:2011 y MOP – 001F - 2002.

La norma que limita las características de los agregados que van a ser usados en la elaboración de hormigón es la NTE INEN 872:2011 y la ASTM C 33, las cuales también especifica que se puede hacer uso de agregados que no cumplan con estos requisitos, siempre y cuando se demuestre mediante ensayos que los hormigones

que se elaboraron con estos materiales desempeñan las funciones para los que son requeridos.

Tabla 39. Caracterización del agregado fino y especificaciones de la norma.

AGREGADO FINO					
ENSAYO		VALOR OBTENIDO			UNIDAD
GRAVEDAD ESPECIFIA (SSS)		2,28			---
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN		7,2			%
PESO UNITARIO SUELTO		1,76			g/cm3
PESO UNITARIO COMPACTO		1,81			g/cm3
GRADACIÓN					
Análisis granulométrico					
NTE INEN 872:2011 y ASTM C33					
Tamiz		**% que pasa**			
		REQUISITOS		**POLVO AZUL**	**Conclusión**
(mm)	**N°**	**mínimo**	**máximo**	**%**	
9,5	3/8 ´´	100	100	98,1	No cumple
4,75	4	95	100	94,5	No cumple
2,36	8	80	100	78,7	No cumple
1,18	16	50	85	64,4	Cumple
0,6	30	25	60	46,8	Cumple
0,3	50	5	30	33,1	No cumple
0,15	100	0	10	22,3	No cumple
MOP-001F-2002					
9,5	3/8 ´´	100	100	98,1	No cumple
4,75	4	95	100	94,5	No cumple
2,36	8	80	100	78,7	No cumple
1,18	16	50	85	64,4	Cumple
0,6	30	25	60	46,8	Cumple
0,3	50	10	30	33,1	No cumple
0,15	100	2	10	22,3	No cumple
Módulo de finura					
MOP-001F-2002, NTE INEN 872:2011 y ASTM C33					
Límite inferior		**Límite superior**		**POLVO AZUL**	**Conclusión**
2,3		3,1		2,62	Cumple
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables					
MOP-001F-2002, NTE INEN 872:2011 y ASTM C33					
Porcentaje de la muestra total en masa. Máximo				**POLVO AZUL**	**Conclusión**
3				2,5	Cumple
Material más fino que el tamiz N° 200					
MOP-001F-2002, NTE INEN 872:2011 y ASTM C33					

Porcentaje de la muestra total en masa. Máximo	POLVO AZUL	Conclusión
5	19,2	No cumple
Resistencia a ciclos de Sulfatos		
MOP-001F-2002		
Porcentaje de la muestra total en masa. Máximo	**POLVO AZUL**	**Conclusión**
10	8,2	Cumple
Impurezas orgánicas.		
MOP-001F-2002, NTE INEN 872:2011 y ASTM C33		
Partículas	**POLVO AZUL**	**Conclusión**
Menor igual a 500 ppm	<500	Cumple

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla 40. Caracterización del agregado grueso y especificaciones de la norma.

AGREGADO GRUESO					
ENSAYO		VALOR OBTENIDO			UNIDAD
GRAVEDAD ESPECIFIA (SSS)		2,42			----
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN		3,11			%
PESO UNITARIO SUELTO		1,37			g/cm3
PESO UNITARIO COMPACTO		1,45			g/cm3
GRADACIÓN					
Análisis granulométrico					
MOP-001F-2002, NTE INEN 872:2011 y ASTM C33					
Tamiz		**% que pasa**			
		REQUISITOS		**%**	**Conclusión**
(mm)	**N°**	**mínimo**	**máximo**		
37,5	1 1/2	100	100	100	Cumple
25,4	1	95	100	99,86	Cumple
19	3/4	65	85	85,04	Cumple
12,7	1/2	25	60	41,38	Cumple
9,51	3/8	13	35	21,55	Cumple
4,76	N°4	0	10	3,16	Cumple
2,36	N°8	0	5	0,96	Cumple
Ensayo			**Agregado grueso**	**%MAX EN MASA**	**Conclusión**
Resistencia a la abrasión			52,50%	50	No cumple
Solidez de los áridos mediante el sulfato			9,95	18	Cumple
Porcentaje que pasa el tamiz N° 200			0	3	Cumple

Fuente: (Barahona, 2020).

10. Análisis e interpretación de resultados.

10.1. Propiedades del hormigón en estado fresco.

Tabla 41. Propiedades del hormigón fresco que fue ensayado a los 28 días.

Estado de la Mezcla del hormigón ensayado a los 28 días					
Relación a/c = 0,4276 [21 Mpa]			Relación a/c = 0,3844 [27,5 Mpa]		
SIN ADITIVO	ADITEC FA-111	SIKA 3	SIN ADITIVO	ADITEC FA-111	SIKA 3
ASENTAMIENTO (cm)					
7	12	10	6	9	7
TRABAJABILIDAD					
Óptima	Óptima	Óptima	Óptima	Óptimo	Óptima
CONSISTNCIA					
Plástico	Húmedo	Húmedo	Plástico	Húmedo	Plástico
HOMOGENEIDAD					
Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

Fuente: (Barahona, 2020).

El asentamiento está relacionado directamente con la consistencia del hormigón en estado fresco y estos parámetros determinan la trabajabilidad. Por las características de los agregados, se consideraron muchos reajustes en la cantidad del agua de mezcla. Para los dos casos la adición del aditivo representa que el valor del asentamiento incremente.

Se debe mencionar la importancia de tomar en cuenta que los dos aditivos incrementan el valor del asentamiento y con ello tomar las medidas necesarias para lograr los asentamientos deseados.

10.2. Propiedades del hormigón endurecido.

10.2.1. Resistencia a la compresión simple.

Se elaboraron 5 probetas para cada una de las relaciones a/c con su aditivo correspondiente, a continuación, se especificarán las características promedio de cada conjunto de probetas. Estas probetas fueron curadas y ensayadas a los 28 días.

Tabla 42. Propiedades del hormigón endurecido que fue ensayado a los 28 días de relación a/c = 0.4276 [21 Mpa].

HORMIGÓN RELACIÓN A/C = 0,4276 SIN ADITIVO												
Probeta	Edad	Long.	Diam.	Área	Vol.	V. prom	Peso	Densi.	Den. Promedio	Carga	Esfuerzo	Esf. Prome
#	Días	cm	cm	cm^2	cm^3	cm^3	g	g/cm^3	g/cm^3	N	kg/cm^2	kg/cm^2
11	28	30,10	15,06	178,13	5361,75		12150	2,25		406700	232,74	
12	28	29,97	15,17	180,80	5418,05		12170	2,25		405010	228,35	
13	28	30,03	15,20	181,52	5451,59	5410,68	12170	2,25	2,25	413800	232,38	230,80
14	28	30,00	15,18	181,01	5430,15		12200	2,25		403700	227,35	
15	28	30,03	15,12	179,53	5391,87		12260	2,27		410700	233,20	
HORMIGÓN RELACIÓN A/C = 0,4276 CON ADITEC FA - 111												
Probeta	Edad	Long.	Diam.	Área	Vol.	V. prom	Peso	Densi.	De. Promedio	Carga	Esfuerzo	Esf. Prome
#	Días	cm	cm	cm^2	cm^3	cm^3	g	g/cm^3	g/cm^3	N	kg/cm^2	kg/cm^2
26	28	29,87	15,14	179,98	5375,44		12370	2,30		439600	248,98	
27	28	29,80	15,23	182,22	5430,25		12080	2,24		428000	239,43	
28	28	29,77	15,16	180,42	5370,54	5389,94	12000	2,23	2,25	480100	271,25	261,64
29	28	30,17	15,21	181,79	5484,08		12390	2,30		488500	273,92	
30	28	29,90	15,01	176,90	5289,40		11870	2,20		476600	274,63	
HORMIGÓN RELACIÓN A/C = 0,4276 CON SIKA 3												
Probeta	Edad	Long.	Diam.	Área	Vol.	V. prom	Peso	Densi.	De. Promedio	Carga	Esfuerzo	Esf. Prome
#	Días	cm	cm	cm^2	cm^3	cm^3	g	g/cm^3	g/cm^3	N	kg/cm^2	kg/cm^2
41	28	30,40	15,20	181,41	5514,88		12420	2,26		489200	274,89	
42	28	30,10	15,23	182,13	5482,04		12280	2,23		488100	273,19	
43	28	30,23	15,20	181,34	5482,48	5501,42	12410	2,26	2,25	476900	268,08	271,86
44	28	30,00	15,20	181,46	5443,75		12520	2,28		480300	269,82	
45	28	30,83	15,19	181,10	5583,93		12370	2,25		485600	273,33	

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla 43. Propiedades del hormigón endurecido que fue ensayado a los 28 días de relación a/c = 0.3844 [27.5 Mpa].

HORMIGÓN RELACIÓN A/C = 0,3844 SIN ADITIVO												
Probeta	Edad	Long.	Diam.	Área	Vol.	V. prom	Peso	Densi.	De. Promedio	Carga	Esfuerzo	Esf. Prome
#	Días	cm	cm	cm^2	cm^3	cm^3	g	g/cm^3	g/cm^3	N	kg/cm^2	kg/cm^2
56	28	29,93	15,19	181,11	5421,30		12080	2,20		525300	295,66	
57	28	29,97	15,28	183,43	5496,89		12440	2,26		515700	286,58	
58	28	30,00	15,24	182,51	5475,31	5500,64	12500	2,27	2,26	515800	288,09	289,55
59	28	30,50	15,26	182,87	5577,53		12540	2,28		513300	286,13	
60	28	30,33	15,24	182,38	5532,16		12480	2,27		521200	291,31	
HORMIGÓN RELACIÓN A/C = 0,3844 CON ADITEC FA - 111												
Probeta	Edad	Long.	Diam.	Área	Vol.	V. prom	Peso	Densi.	De. Promedio	Carga	Esfuerzo	Esf. Prome
#	Días	cm	cm	cm^2	cm^3	cm^3	g	g/cm^3	g/cm^3	N	kg/cm^2	kg/cm^2
71	28	30,40	15,36	185,27	5632,35		12750	2,31		627800	345,41	
72	28	30,03	15,13	179,83	5400,79		12160	2,20		624400	353,95	
73	28	30,47	15,18	181,04	5515,71	5515,39	12500	2,27	2,26	581100	327,19	334,59
74	28	30,40	15,35	185,13	5627,95		12750	2,31		552300	304,11	
75	28	30,00	15,14	180,00	5400,15		12130	2,20		604400	342,27	
HORMIGÓN RELACIÓN A/C = 0,3844 CON SIKA 3												
Probeta	Edad	Long.	Diam.	Área	Vol.	V. prom	Peso	Densi.	De. Promedio	Carga	Esfuerzo	Esf. Prome
#	Días	cm	cm	cm^2	cm^3	cm^3	g	g/cm^3	g/cm^3	N	kg/cm^2	kg/cm^2
86	28	30,07	15,14	180,06	5413,93		12400	2,26		633800	358,80	
87	28	30,10	15,12	179,43	5400,98		12600	2,30		641200	364,27	
88	28	30,00	15,26	182,89	5486,81	5488,05	12900	2,35	2,30	618300	344,61	352,07
89	28	30,13	15,42	186,63	5623,73		12700	2,31		635400	347,06	
90	28	30,13	15,27	183,01	5514,81		12450	2,27		620500	345,61	

Fuente: (Barahona, 2020).

Con esta tabla podemos observar que no existe cambios en la densidad de las probetas de hormigón por que la adición de los aditivos no provoca una variación en esta propiedad. El único cambio que se evidencia es el aumento de esfuerzo, lo

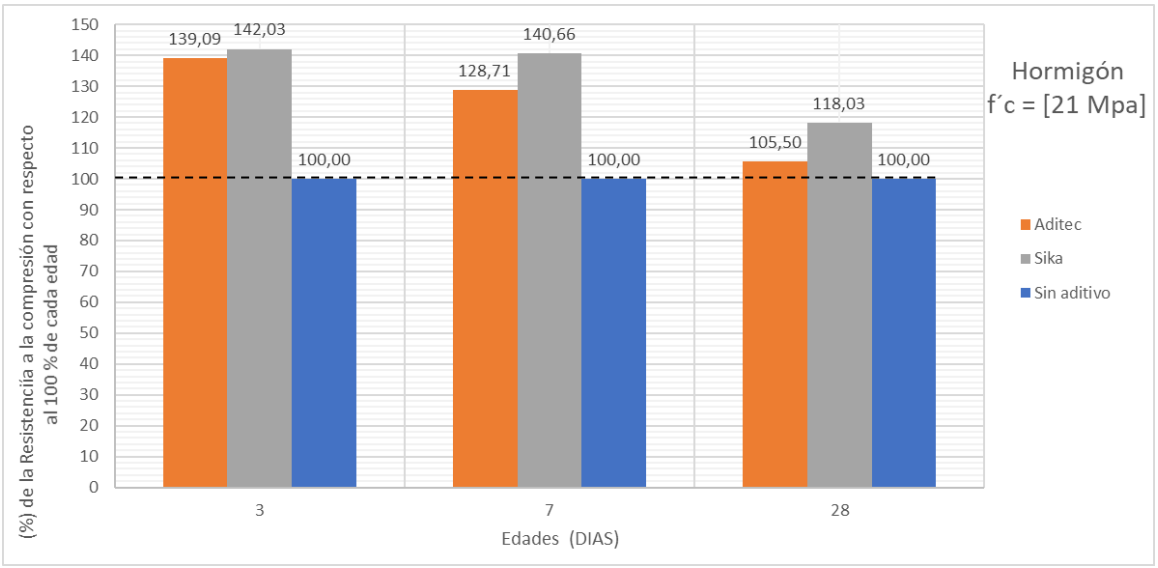
cual es evidente al haber usados aditivos acelerantes de fraguado, con lo que se logran resistencias mayores a edades tempranas.

Tabla 44. Porcentaje de la resistencia característica a la compresión simple de los hormigones con aditivos, con respecto al hormigón patrón a cada edad.

Porcentaje de la resistencia característica a la compresión simple.						
Relación a/c	0,4276 [21 Mpa]			0,3844 [27.5 Mpa]		
Edades [días]	Normal	Aditec	Sika	Norma	Aditec	Sika
	%					
3	100,00	139,09	142,03	100,00	115,30	123,93
7	100,00	128,71	140,66	100,00	111,15	122,79
28	100,00	105,50	118,03	100,00	108,43	119,66

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica 3. Comparación del porcentaje de la resistencia característica, compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón.



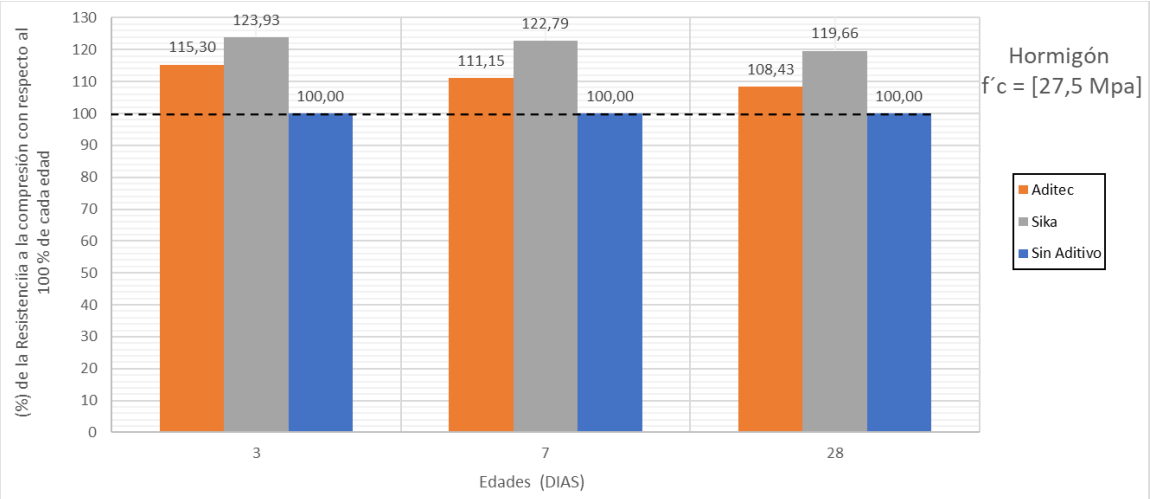
Fuente: (Barahona, 2020).

Para el hormigón con relación a/c = 0.4276 observamos que a los 3 días el incremento en la resistencia para los dos aditivos es la más alta en comparación con las resistencias de las otras dos edades. Para el aditivo ADITEC FA – 111 el incremento de resistencia con respecto al hormigón sin aditivo a los 3 días es del 139.09%, para los 7 días el incremento es del 128.71% y a los 28 días incrementa en el 105.5%. Para el aditivo SIKA 3 el incremento de resistencia con respecto al

hormigón sin aditivo a los 3 días es del 142.03%, para los 7 días el incremento es del 140.66% y a los 28 días incrementa en el 118.03%.

A los 28 días se observa que el incremento porcentual de la resistencia a la compresión simple del hormigón diseñado con el acelerante SIKA 3 con respecto al hormigón patrón es mayor que el incremento porcentual de la resistencia a la compresión simple del hormigón diseñado con el aditivo ADITEC FA - 111, sin embargo, debemos considerar que se usó una mayor cantidad de aditivo SIKA 3 durante la elaboración del hormigón. Se observa que a los 3 días a pesar de la diferencia de producto utilizado de 200 ml no existe una diferencia importante en el porcentaje de incremento porcentual de la resistencia a la compresión simple entre los dos acelerantes. Los cilindros de hormigón elaborados con el aditivo SIKA 3 ensayados a los 7 días experimentan un incremento más notable en el porcentaje de aceleración de la resistencia a la compresión simple.

Gráfica 4. Comparación del porcentaje de la resistencia característica a compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón.



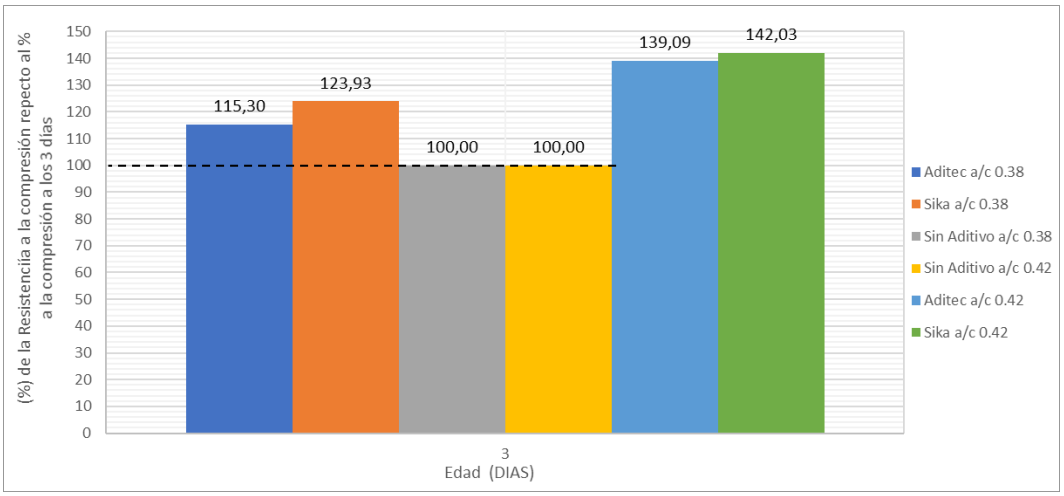
Fuente: (Barahona, 2020).

Para el hormigón con relación a/c = 0.3844 observamos que a los 3 días el incremento en la resistencia para los dos aditivos es la más alta en comparación con las resistencias de las edades de 7 y 28 días, pero no es tan evidente esta diferencia con respecto a las otras edades como en el caso del hormigón de mayor relación

agua - cemento. Para el aditivo ADITEC FA – 111 el incremento de resistencia con respecto al hormigón sin aditivo a los 3 días es del 115.3%, para los 7 días el incremento es del 111.11% y a los 28 días incrementa en el 108.43%. Para el aditivo SIKA 3 el incremento de resistencia con respecto al hormigón sin aditivo a los 3 días es del 123.93%, para los 7 días el incremento es del 122.79% y a los 28 días incrementa en el 119.66%.

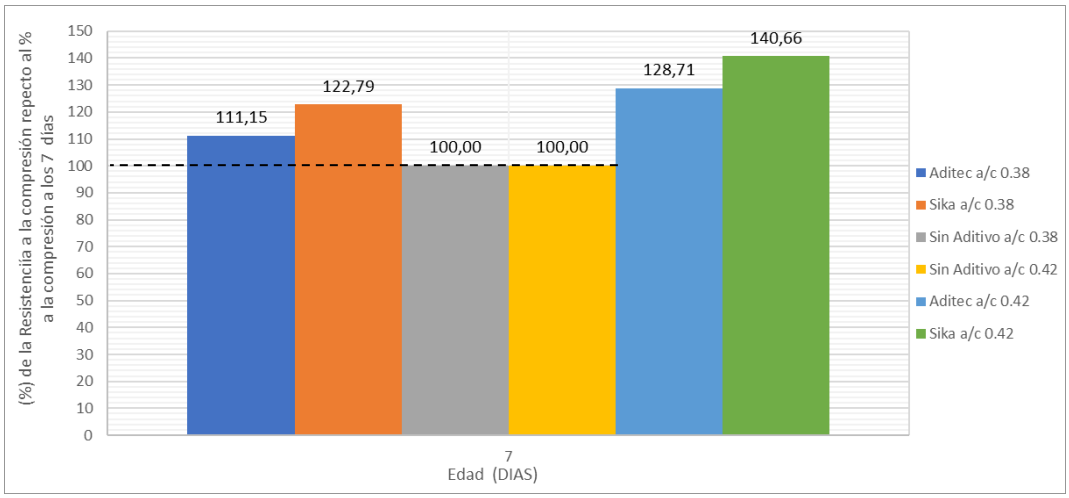
A los 28 días se observa que el incremento del acelerante ADITEC FA – 111 es mayor que el incremento de resistencia del aditivo SIKA 3, sin embargo, debemos considerar que se usó una mayor cantidad de aditivo SIKA 3 durante la elaboración del hormigón. La diferencia en el incremento de resistencias en el tiempo no es tan evidente como en el hormigón con mayor relación agua cemento.

Gráfica 5. Comparación del porcentaje de la resistencia característica a compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón de las dos relaciones a/c a la edad de 3 días.



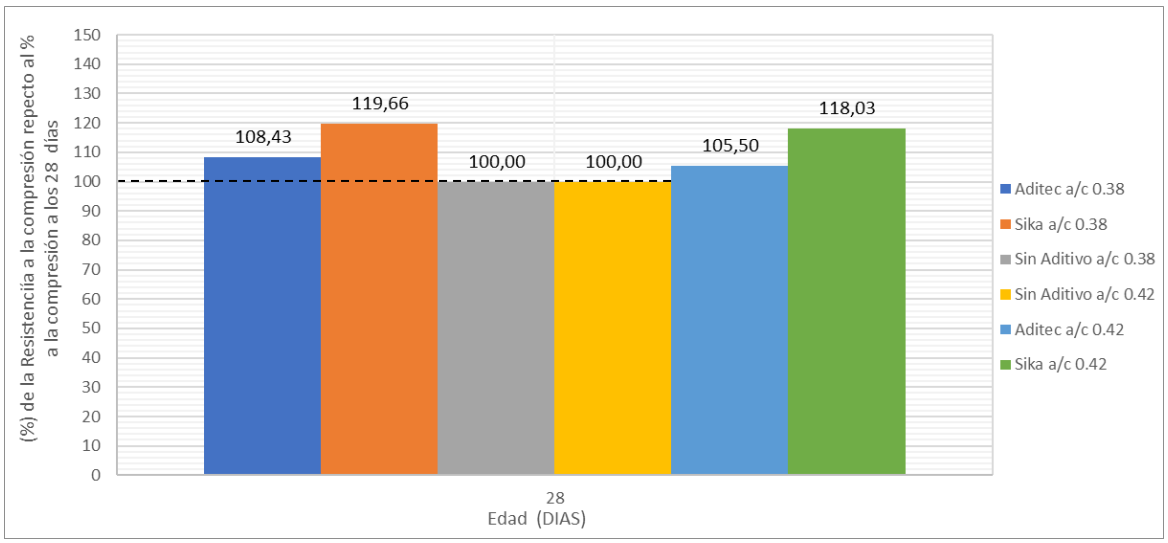
Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica 6. Comparación del porcentaje de la resistencia característica a compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón de las dos relaciones a/c a la edad de 7 días.



Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica 7. Comparación del porcentaje de la resistencia característica a compresión simple con respecto a la resistencia característica del hormigón patrón de las dos relaciones a/c a la edad de 28 días.



Fuente: (Barahona, 2020).

Con estas gráficas se evidencia que en hormigones con relaciones de agua cemento mayores y específicamente con los agregados pétreos usados en este trabajo, el porcentaje de incremento en las resistencias es más pronunciado, siendo para el hormigón con aditivo ADITEC FA – 111 el 139.09% y para el aditivo SIKA 3 es 142.03% que en hormigones de relación agua cemento de valores menores, siendo

para el hormigón con aditivo ADITEC FA – 111 el 115.3% y para el aditivo SIKA 3 es 123.93% en los primeros 3 días, por el contrario, a los 28 días el hormigón con aditivo en la relación agua cemento menor tiene un porcentaje de resistencia a la compresión simple mayor que la relación a/c = 0.4276.

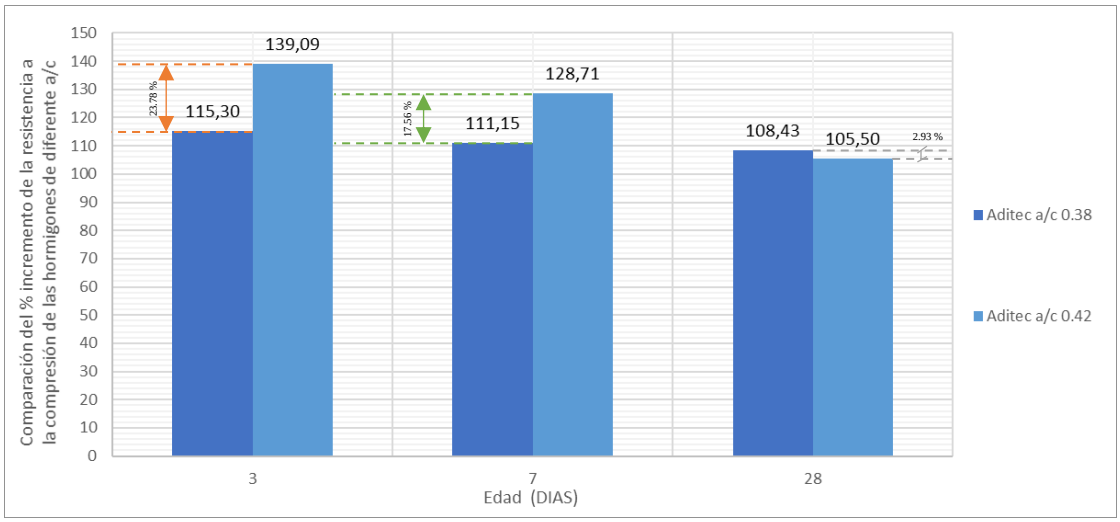
Esta comparación se la realiza considerando que se usó la misma cantidad de aditivo para las dos relaciones de a/c, a pesar de que la cantidad de cemento y agua de mezcla varia para cada una de las dosificaciones.

Tabla 45. Diferencia entre el crecimiento en % de la resistencia característica a la compresión simple de las dos relaciones a/c.

Diferencia entre el % de crecimiento de las dos relaciones a/c		
Edades [días]	Aditec	Sika
	%	
3	23,78	18,10
7	17,56	17,87
28	2,93	1,62

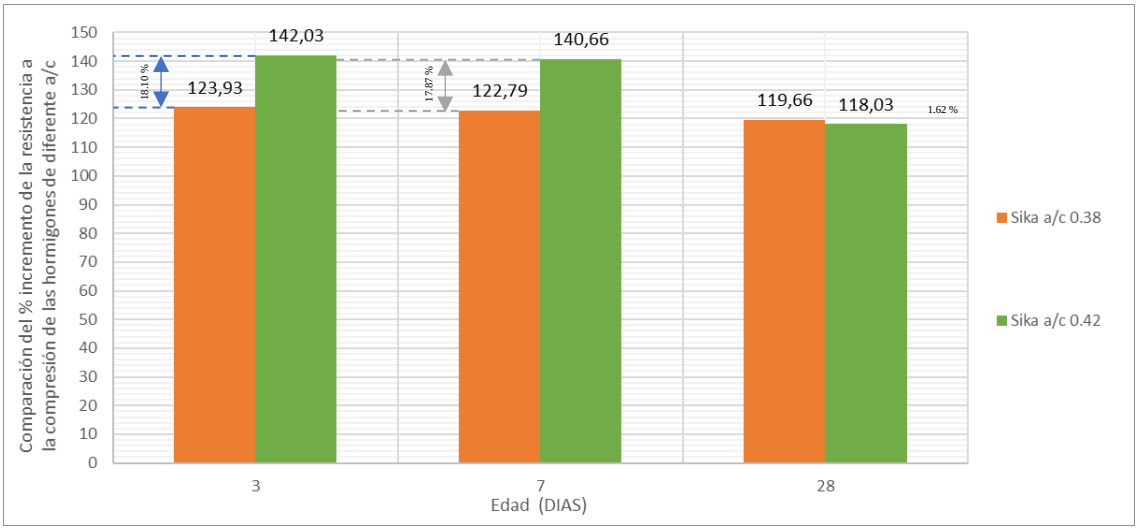
Fuente: (Barahona, 2020)

Gráfica 8. Comparación entre el crecimiento en % de la resistencia a la compresión simple de las dos relaciones a/c aditivo ADITEC FA - 111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica 9. Comparación entre el crecimiento en % de la resistencia a la compresión simple de las dos relaciones a/c aditivo SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

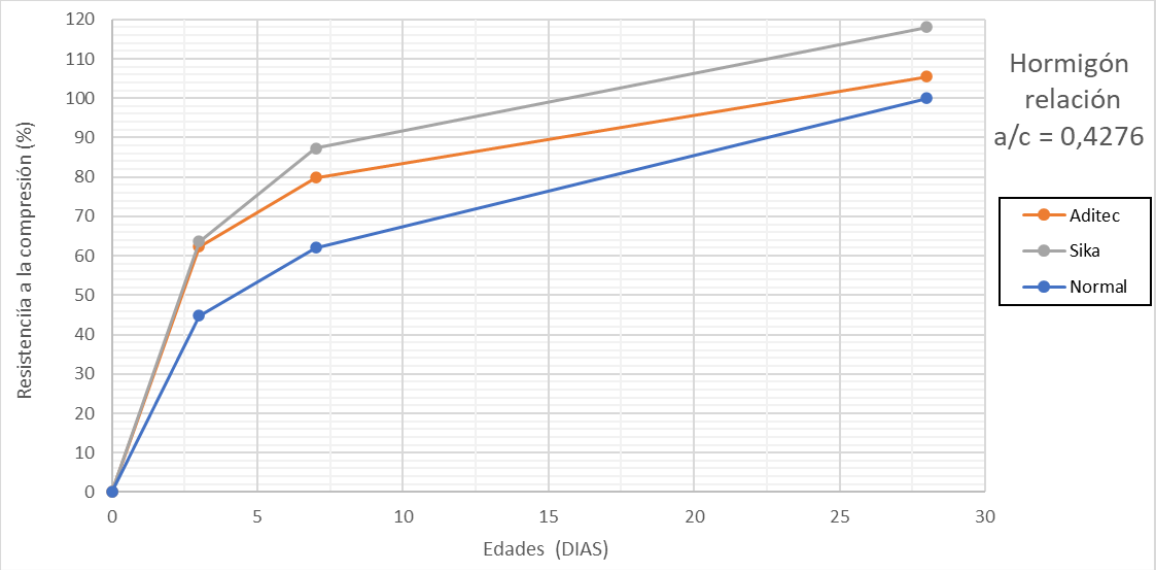
En estas gráficas de barras podemos observar que en los 3 primeros días del hormigón con aditivo ADITEC FA - 111 y relación a/c de 0.4276 tiene un incremento en la resistencia característica del 23.78% con respecto al mismo hormigón de relación a/c de 0.3844, de la misma manera la diferencia entre los hormigones de diferentes relaciones a/c con el aditivo SIKA 3 es del 18.10%. A los 7 días se observa que la diferencia entre el incremento de los hormigones con sus respectivos aditivos y diferentes relaciones a/c son valores similares, hasta esta edad el desarrollo de la resistencia es mayor en el hormigón de relación a/c de 0.4276, a los 28 días se observa que el desarrollo en el incremento de la resistencia característica en el hormigón con relación a/c de 0.3844 es mayor que el hormigón con relación a/c de 0.4276.

Tabla 46. Porcentaje de la resistencia característica a la compresión simple con respecto a la resistencia alcanzada por el hormigón normal a los 28 días.

Porcentaje de la resistencia característica a la compresión simple.						
Relación a/c	0,4276			0,3844		
Edades	Normal	Aditec	Sika	Norma	Aditec	Sika
	%					
0	0	0	0	0	0	0
3	44,83	62,35	63,67	45,89	52,91	56,87
7	62,04	79,85	87,26	65,51	72,81	80,43
28	100,00	105,50	118,03	100,00	108,43	119,66

Fuente: (Barahona, 2020).

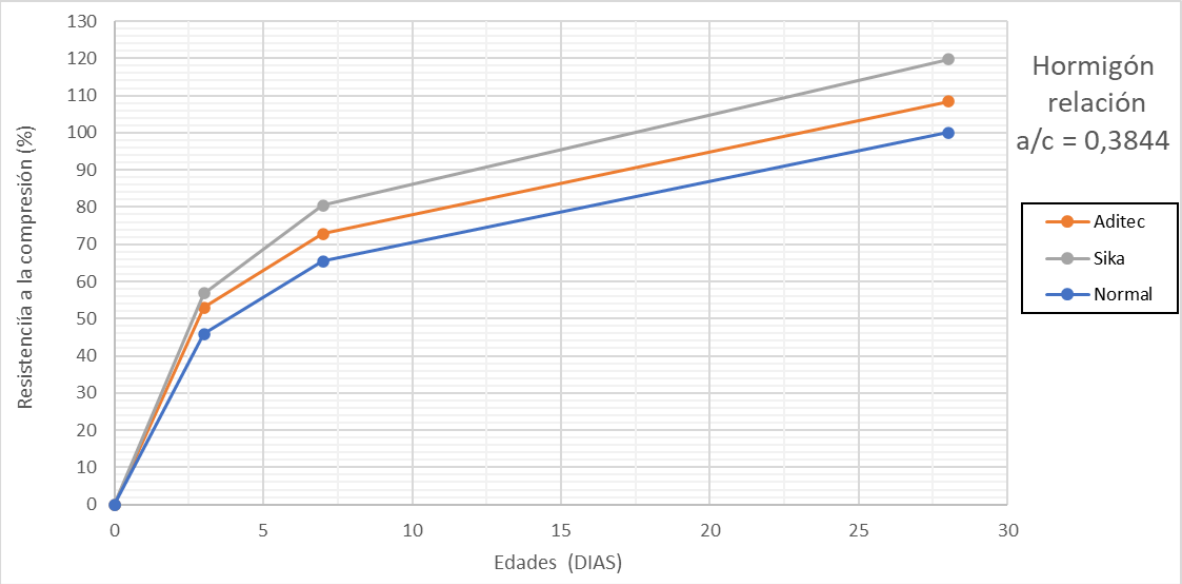
Gráfica 10. Resistencia a la compresión simple (%) vs edad (días).



Fuente: (Barahona, 2020).

En esta gráfica se puede observar el incremento del porcentaje de la resistencia característica con respecto a la resistencia obtenida a los 28 días con el hormigón elaborado sin aditivo, en el hormigón de relación agua cemento de 0.4276. A los 3 días el incremento de la resistencia característica para los dos aditivos es similar, a los 7 días podemos observar que el acelerante SIKA 3 desarrolla mayor crecimiento que el aditivo ADITEC FA – 11, y los 28 días se observa que el incremento del aditivo SIKA 3, adquiere mayor resistencia que el hormigón elaborado sin aditivo y que el hormigón elaborado con el aditivo ADITEC FA – 111.

Gráfica 11. Resistencia a la compresión simple (%) vs edad (días).



Fuente: (Barahona, 2020).

En esta gráfica se puede observar el incremento del porcentaje de la resistencia característica con respecto a la resistencia obtenida a los 28 días con el hormigón elaborado sin aditivo, en el hormigón de relación agua cemento de 0.3844. A los 3 días el incremento de la resistencia característica para los dos aditivos es similar, a los 7 días podemos observar que el acelerante SIKA 3 desarrolla mayor crecimiento que el aditivo ADITEC FA – 11, y los 28 días se observa que el incremento del aditivo SIKA 3, adquiere mayor resistencia que el hormigón elaborado sin aditivo y que el hormigón elaborado con el aditivo ADITEC FA – 111.

Sin embargo, este crecimiento a través del tiempo de la resistencia característica es menor que el incremento en el hormigón de relación agua cemento de 0.4276, por lo que se podría considerar que se necesita realizar más investigaciones del comportamiento de hormigones elaborados con estos materiales para resistencias más altas o para hormigones de relaciones agua cemento de menor valor. Para observar cómo sería el desarrollo de los aditivos.

10.2.2. Módulo de elasticidad.

Tabla 47. Módulos de elasticidad promedios y deformación unitaria máxima.

Relación a/c	Resistencia de diseño	Módulo de elasticidad		
		kg/cm2		
	kg/cm2	Sin aditivo	Adit. FA-111	SIKA 3
0,4276	210	209389	214726	218389
Deformación Unitaria Máx.		0,0018	0,00168	0,00180
0,3844	280	226914	239279	230045
Deformación Unitaria Máx.		0,00170	0,00185	0,00180

Fuente: (Barahona, 2020).

En esta tabla podemos observar que la deformación unitaria máxima de las probetas ensayadas en el laboratorio varia de 0.00168 a 0.00185. Los módulos de elasticidad promedio no tienen una variación importante con respecto a su valor en los hormigones elaborados con aditivo y aquellos que fueron elaborados sin el uso de aditivos.

Tabla 48. Módulos de elasticidad característico.

Relación a/c	Resistencia de diseño	Módulo de elasticidad característico		
		kg/cm2		
	kg/cm2	Sin aditivo	Adit. FA-111	SIKA 3
0,4276	210	208328	205599	213571
0,3844	280	226747	217740	220452

Fuente: (Barahona, 2020).

11. Conclusiones, comentarios y recomendaciones.

11.1. CONCLUSIONES

11.1.1 A partir de la caracterización de los agregados, observamos que tanto el agregado fino como el agregado grueso, no cumplen con algunos de los requisitos especificados en la norma NTE INEN 872 y ASTM C 33, lo que se puede evidenciar en las tablas número 23 y en la 24. En el caso del agregado fino el porcentaje de material que pasa el tamiz N 200 es de 19.2% y no cumple con la especificación

que para nuestro caso es del 7%, tampoco cumple con las especificaciones de granulometría. Para el agregado grueso se puede ver que la abrasión del agregado grueso que es el 52.04% y la especificada es máximo el 50% por lo que no cumple.

11.1.2. Si se observa las tablas 32, 33 y 34 se concluye que el cemento utilizado cumple con todas las especificaciones de calidad previstas en la norma NTE INEN 490 (Norma Técnica Ecuatoriana) y ASTM C 595.

11.1.3. Las probetas de hormigón alcanzaron los siguientes porcentajes de resistencia característica a la compresión simple con respecto a la resistencia alcanzada en las probetas de hormigón normal a los 3 días: para los hormigones de relación agua cemento de 0.4276, el aditivo ADITEC FA – 111 alcanzó el 139.09% y el aditivo SIKA 3 el 142.03%. Para la relación a/c de 0.3844 el aditivo ADITEC FA – 111 alcanzó el 115.30% y el aditivo SIKA 3 el 123.93%, estos datos se encuentran planteados en la tabla N° 44.

11.1.4. Las probetas de hormigón alcanzaron los siguientes porcentajes de resistencia característica a la compresión simple con respecto a la resistencia alcanzada en las probetas de hormigón normal a los 7 días: para los hormigones de relación agua cemento de 0.4276, el aditivo ADITEC FA – 111 alcanzó el 128.71% y el aditivo SIKA 3 el 140.66%. Para la relación a/c de 0.3844 el aditivo ADITEC FA – 111 alcanzó el 111.15% y el aditivo SIKA 3 el 122.79%, estos datos se encuentran planteados en la tabla N° 44.

11.1.5. Las probetas de hormigón alcanzaron los siguientes porcentajes de resistencia característica a la compresión simple con respecto a la resistencia alcanzada en las probetas de hormigón normal a los 28 días: para los hormigones de relación agua cemento de 0.4276, el

aditivo ADITEC FA – 111 alcanzó el 105.5% y el aditivo SIKA 3 el 118.03%. Para la relación a/c de 0.3844 el aditivo ADITEC FA – 111 alcanzó el 108.43% y el aditivo SIKA 3 el 119.66%, estos datos se encuentran planteados en la tabla N° 44.

11.1.6. Las probetas de hormigón alcanzaron los siguientes porcentajes de resistencia característica a la compresión simple con respecto a la resistencia alcanzada en las probetas de hormigón normal a los 28 días: para el hormigón de relación agua cemento de 0.4276, el aditivo ADITEC FA – 111 alcanzó un porcentaje 62.35% a los 3 días, a los 7 días llegó a un porcentaje de 79.85%, para el hormigón de relación agua cemento de 0.3844 el porcentaje fue del 52.91% a los 3 días, a los 7 días de 72.81% lo que se puede observar en la tabla N° 46.

11.1.7. Las probetas de hormigón alcanzaron los siguientes porcentajes de resistencia característica a la compresión simple con respecto a la resistencia alcanzada en las probetas de hormigón normal a los 28 días: para el hormigón de relación agua cemento de 0.4276, el aditivo SIKA 3 alcanzó un porcentaje 63.67% a los 3 días, a los 7 días llegó a un porcentaje de 87.26%, para el hormigón de relación agua cemento de 0.3844 el porcentaje fue del 56.87% a los 3 días, a los 7 días de 80.43% lo que se puede observar en la tabla N° 46.

11.1.8. El incremento de resistencia del hormigón con el aditivo ADITEC FA -111 de relación agua cemento = 0.4276 en los primero 7 días tiene un porcentaje de crecimiento correspondiente al 128.71%, mientras que el hormigón con aditivo de relación agua cemento = 0.3844 en los primeros 7 días tiene un porcentaje de crecimiento correspondiente al 111.15%. Para el hormigón con el aditivo SIKA 3 de relación agua cemento = 0.4276 en los primeros 7 días tiene un porcentaje de crecimiento correspondiente al 140.66%, mientras que

el hormigón con aditivo de relación agua cemento = 0.3844 en los primeros 7 días tiene un porcentaje de crecimiento correspondiente al 122.79%. (Tabla N°44).

11.1.9. El aditivo no influye en el valor del módulo de elasticidad del hormigón (tabla N°48), en donde observamos que los módulos de elasticidad característicos del hormigón con relación a/c de 0.4276 y sin aditivo tiene un valor de 208328 kg/cm^2, el hormigón elaborado con el aditivo ADITEC FA – 111 tiene un valor del módulo de elasticidad característico de 205599 kg/cm^2 y el hormigón elaborado con el aditivo SIKA 3 tiene un valor del módulo de elasticidad característico de 213571 kg/cm^2. Para el hormigón con relación a/c de 0.3844 y sin aditivo tiene un valor de módulo de elasticidad característico de 226747 kg/cm^2, el hormigón elaborado con el aditivo ADITEC FA – 111 tiene un valor del módulo de elasticidad característico de 217740 kg/cm^2 y el hormigón elaborado con el aditivo SIKA 3 tiene un valor del módulo de elasticidad característico de 220452 kg/cm^2.

11.1.10. Para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón, el ACI establece la siguiente expresión:

$$Ec = \alpha * \sqrt{f´c}$$

$$Donde:$$

$$\alpha = \text{Ec}/\sqrt{f´c}$$

$$\lambda = 4270 * \delta^{1.5}$$

$$Ec = Módulo\ de\ elasticidad\ del\ hormigón\ [kg/cm^2]$$

$$f´c = Resistencia\ cilindrica\ del\ hormigón\ [kg/cm^2]$$

$$\delta = Peso\ unitario\ del\ hormigón\ [T/m^3]$$

Los valores de α calculados en el laboratorio y los valores de α calculados con la formula del ACI, son de semejante valor numérico lo que se puede observar en la tabla número 38 en donde α1 es el valor calculado con la formula ACI y α2 es el valor determinado en el laboratorio; los valores de α1 promedio varían de 14370 hasta 15008 y para α2 estos valores varían de 14202 hasta 14646.

11.1.11. A partir de los datos recopilados en el laboratorio se pudo establecer un valor de λ experimental con la siguiente expresión:

$$\lambda = \alpha 2/\delta^{1.5}$$

$$Donde:$$

$$\alpha 2 = \text{Valor de } \alpha\ determinado\ en\ el\ laboratorio$$

$$\lambda = \text{Constante}$$

El valor promedio de λ obtenido en el laboratorio para el hormigón de este trabajo de investigación es de 4212 mientras que el valor establecido por el ACI para λ es de 4270, el valor experimental es menor debido a que los materiales utilizados para este trabajo son livianos y porosos, con esto planteamos la siguiente expresión para el cálculo de α:

$$n = 4212 * \delta^{1.5}$$

10.2. COMENTARIOS

10.2.1. Llegar a los valores de diseño de las resistencias establecidas en este trabajo de investigación, fue complicado debido a las características

de los materiales. Para la resistencia esperada en este trabajo de 280 kg/cm^2 (a/c de 0.3844), se tuvo problemas para encontrar la cantidad de agua neta adecuada, por cuanto no se lograba estabilizar la condición de trabajabilidad o manejabilidad, porque el asentamiento aumentaba y disminuía desproporcionadamente, razón por la que se tuvo una variación en los valores de asentamiento; sin embargo, se pudo trabajar con todas las mezclas dentro de una condición de consistencia plástica.

10.2.2. Para llegar a las resistencias previstas en nuestro trabajo se utilizó relaciones a/c menores a las normales, esto se explica considerando que los agregados que utilizamos no son de buena calidad, lo cual también explica los problemas que tuvimos para lograr la consistencia apropiada.

10.2.3. No se realizaron ensayos a los aditivos, debido a que este tipo de ensayos todavía no se realizan en el laboratorio de la facultad de ingeniería, por lo que se asume que cumplen con las normas de calidad para aditivos de las clases correspondiente, en el caso del aditivo SIKA – 3 y ADITEC FA - 111 la norma ASTM C – 494.

10.2.4. Con el acelerante ADITEC FA - 111 se observa que se incrementa el asentamiento para la relación agua cemente de 0.4276 en 5 centímetros con respecto al hormigón sin aditivo, para la relación agua cemento de 0.3844 el incremento en el asentamiento es de 3 centímetros, mientras, que para el acelerante SIKA 3 se observa que se incrementa el asentamiento para la relación agua cemente de 0.4276 en 3 centímetros con respecto al hormigón sin aditivo, para la relación agua cemento de 0.3844 el incremento en el asentamiento es de 1 centímetro, como podemos observar en la tabla 41, en este caso, se puede considerar que los dos aditivos aparte de acelerantes de fraguado mejoran la manejabilidad del hormigón.

10.2.5. El control de agua de mezcla en la dosificación fue un factor complicado de manejar para obtener los asentamientos planteados y con ello llegar a las resistencias deseadas, esto se debe a dos razones, la primera la cantidad de agregado que pasa el tamiz N° 200 que contiene el agregado fino y la segunda que el agregado grueso estaba sucio. Por lo que, el control en el incremento del asentamiento al adicionar los aditivos es muy importante, de no ser así podríamos incrementar el valor del asentamiento a cantidades en la que este hormigón no sería trabajable, y que se vería afectado en otras propiedades como la homogeneidad, consistencia y el asentamiento de las partículas de mayor tamaño, en el encofrado.

10.2.6. No se logró una adecuada adherencia entre el agregado grueso y la pasta cementante, esto se evidencio el momento de la rotura de los cilindros en donde se observó que existían partículas sueltas que no eran parte ni de la pasta cementante ni del agregado grueso, estas partículas pudieron ser parte del exceso de finos que pasan el tamiz N°200 en el agregado fino, o partículas que se encontraban en el agregado grueso.

10.2.7. Se pudo evidenciar, de acuerdo con los resultados obtenidos experimentalmente, que los dos aditivos desarrollan un porcentaje mayor en el incremento de su resistencia a la compresión simple, en hormigones diseñados con valores en la relación agua cemento más altas en sus primeros días, esto es importante si deseamos someter al hormigón a esfuerzos externos o de peso propio en los primeros 7 días.

10.2.8. En las conclusiones se propone un valor de λ que va desde 4168 hasta 4241 mientras que el valor planteado por la ACI para landa es de 4270, por lo que se puede observar que el valor de λ planteado en este trabajo de investigación es menor que el de la ACI, esto se debe

a que los materiales usados para el desarrollo de este trabajo son materiales livianos y porosos.

10.3. RECOMENDACIONES

10.3.1. Si se necesita desencofrar y así someter al hormigón a cargas por peso propio o someterlo a cargas externas a edades como los 3 días el uso del acelerante ADITEC FA – 111, sería más beneficioso, tomando en cuenta el ahorro en cantidad de producto usado (datos que podemos observar en el numeral 5.2 ´´diseño de hormigones´´, de este trabajo) y teniendo resultados muy semejantes entre los dos acelerantes con respecto a la resistencia a la compresión simple, lo que se evidencio durante el ensayo de resistencia a la compresión de los hormigones, y se puede observar en la gráfica número 5, 6 y 7. Con esto podemos determinar ahorro a la hora de adquirir la cantidad de producto que necesitamos.

10.3.2. Se recomienda lavar el agregado grueso antes de usarlo en la elaboración de hormigón, asegurándose de retirar todas las partículas finas que impiden la correcta adherencia entre los agregados y la pasta cementante, y de esta manera comprobar que este es un factor que perjudican en el desarrollo de la resistencia a la compresión simple de las probetas como se menciona en el libro de (Guzmán, 2001), debido a que al finalizar el ensayo de compresión simple de cada probeta, se pudo observar partículas sueltas entre el agregado grueso y la pasta cementante.

10.3.3. Es importante realizar pruebas previas al diseño de dosificación final, para poder reajustar la cantidad de agua que se debe adicionar, así como la cantidad de aditivo, con la que se controle los valores de asentamiento sin que perjudique el acelerado de la resistencia a compresión que se desea en un hormigón, durante la elaboración de

las probetas de prueba tuvimos conflictos con la cantidad de agua adicionada.

10.3.4. Se recomienda tomar varias medidas de humedad del agregado fino en diferentes tiempos desde que se empieza con la obtención de la cantidad establecida en la dosificación hasta que el agregado se adhiere a la mezcla, debido al alto porcentaje de finos del agregado. Esto provoca que con las temperaturas del ambiente no siendo estas necesariamente altas, el agregado fino pierda la humedad de manera acelerada con lo que cambiaría la cantidad de agua que se debe agregar a la mezcla. En el caso de realizar la mezcla para la elaboración del hormigón con este material a la intemperie la pérdida del porcentaje de humedad en el agregado fino es mucho más acelerada. Lo pudimos observar durante la elaboración de una cantidad de probetas que coincidió con una mañana muy soleada, y al contener una gran cantidad de partículas finas el agregado con el que se trabajó, esto contribuyo a una velocidad acelerada de perdida de humedad del agregado fino.

10.3.5. Se recomienda no usar estos agregados para obras en las que las exigencias de la resistencia de diseño a compresión superen los 23.5 [Mpa] (240 kg/cm^2), esto debido a las características mecánicas de los agregados, con lo que resulto complicado el diseño de hormigones de resistencias mayores que la mencionada, entre estas características puedo mencionar la resistencia a la abrasión del agregado grueso usado en esta disertación, el porcentaje de abrasión del agregado grueso es del 52.04% (tabla 39) lo que supera el límite establecido en la norma, al romper los cilindros se evidencio que era el agregado grueso el que se fracturaba.

10.3.6. Se recomienda realizar una investigación en la que se comparen los aditivos usados en esta disertación con otros materiales, por

ejemplo, los agregados de Pifo, con esto se podría observar si es que existe diferencia en el tiempo y tendencia en la que los aditivos aceleran el proceso fraguado, es evidente que al ser productos químicos tendrán una reacción diferente si se cambia los materiales con los que se elabora el hormigón.

11. Bibliografía

ACI318-19. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete.*

Alvarado, J. N. (30 de Mayo de 2017). *SlideShare*. Obtenido de Manual dosificaciones de-hormigon: https://www.slideshare.net/1651715890/manual-dosificaciones-dehormigon

ASTM. (2015). *Standard Test Methd for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.*

ASTM. (2019). *Standard Test Method for Organic Impurtles In Fine Aggregates for Concrete.* ASTM.

ASTM(C117). (2017). *Standard Test Method for Materials Finer than 75-m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing.*

ASTM(C127). (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.*

ASTM(C128). (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.*

ASTM(C131). (2020). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion ans Impact in the Los Angeles Machine.*

ASTM(C136). (2019). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.*

ASTM(C566). (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.*

ASTM(C88). (2018). *Standard Tst Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate.*

ASTM(D75). (2019). *Standard Practice for Sampling Aggregates.*

ASTMC-33. (2018). *Standard Specificayion for Concrete Aggregates.*

ASTMC595. (2020). *Standard Specification for Blended Hyfraulic Cements.*

Barahona, J. (2019). Estudio *comparativo del fecto de aditivos acelerantes de fraguado SIKA 3 y ADITEC FA – 111 en hormigones elaborados con agregados de las minas de la mitad del mundo agregado grueso mina Pérez y agregado fino mina Carmen Gualato* . Quito: WORD.

Bencosme, M. R. (2020). Que es la consolidacion del concreto. *Arquitectura21.com*, 15.

Canovas Fernández. (13 de Febrero de 2019). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Aditivos_para_hormig%C3%B3n

Carrascal, I. A., Polanco, J. A., Figueroa, J. F., & Setién, J. (2003). Aplicación de una red neuronal artificial a la dosificación de hormigones premezclados. *Dialner plus*, 7.

Cisneros Argudo, J. A. (1984). *Uso de Aditivos acelerantes e impermeabilizantes en Hormigón (Tesis de pregrado).* Quito.

Concreto, R. 3. (2020). *Acelerantes para el concreto: tipos y beneficios*. Obtenido de 360 EN CONCRETO: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/acelerantes-para-el-concreto-tipos-y-beneficios

EXCELTOTAL. (2020). *EXCELTOTAL*. Obtenido de CÓMO HACER UNA CAMPANA DE GAUSS EN EXCEL: https://exceltotal.com/como-hacer-una-campana-de-gauss-en-excel/

Guzmán, D. S. (2001). *TECNOLIGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO.* Santafé de Bogotá: BHANDER EDITORES LTDA.

Harmer E., D., George Earl, T., & Clement W., W. (1966). *ENSAYE E INSPECCION DE LOS MATERIALES DE INGENIERIA.* California: CONTINENTAL, S.A.

INECYC. (23 de Septiembre de 2011). *SlideShare*. Obtenido de https://es.slideshare.net/Jenikto/control-calidad-hormigon

INEN (490). (2011). *CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS.* . QUITO: NEC.

INEN. (2009). *CEMEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.* QUITO: NTE.

INEN. (2009). *CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL. MÉTODO DE VICAT.* QUITO: NTE.

INEN. (2010). *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DEMENUZABLES.* QUITO: NTE.

INEN. (2010). *ÁRIOS. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS.* QUITO: NTE.

INEN. (2010). *CEMENTO HIDRÁULICO. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.* QUITO: NTE.

INEN. (2010). *CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE PASTA DE CEMENTO HIDRÁULICO. MÉTODO DE LAS AGUJAS DE GILMORE.* QUITO: NTE.

INEN. (2010). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO.* QUITO: NTE.

INEN. (2010). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO.* QUITO: NTE.

INEN. (2010). *HORMIGÓN Y ÁRIDOS PARA ELABORAR HORMIGÓN. TERMINILOGÍA.* QUITO: NTE.

INEN. (2013). *MALLAS Y TAMICES PARA ENSAYO. REQUISITOS.* QUITO: NTE.

INEN(695-1). (2010). *ÁRIDOS. MUESTREO.* QUITO: NTE.

INEN(696). (2011). *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS ÁRIDOS FINO Y GRUESO.* QUITO: NTE.

INEN(697). (s.f.). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MAS FINO QUE PASA EL TAMIZ CON ABERTURAS DE 75 um No200, MEDIIANTE LAVADO.* QUITO: NTE.

INEN(856). (2010). *ÁRIDOS. DETERMMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO.* QUITO: NTE.

INEN(857). (2010). *ÁRIDO. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA)Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO.* QUITO: NTE.

INEN(860). (s.f.). *ÁRIDOS DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37.54 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÑANELES* . QUITO: NTE.

INEN(862). (2011). *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. DETERMMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD.* QUITO: NTE.

INEN(863). (2011). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE SULFATO DE MAGNESIO.* QUITO: NTE.

INEN872. (2011). *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS.* QUITO: NTE 872.

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Tanasi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto.* Illinois: PCA.

Lara Carrera, L. A. (23 de Febrero de 2017). Laboratorio de Hormigones. Quito, Pichincha, Ecuador.

NEC-SE-HM. (214). *Estructuras de Hormigón Armado.* NEC.

Osorio, J. D. (17 de Ocubre de 2018). *360 EN CONCRETO*. Obtenido de ARGOS: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/elasticidad-del-concreto#:~:text=El%20m%C3%B3dulo%20de%20elasticidad%20de,material%20y%20su%20deformaci%C3%B3n%20unitaria.&text=%C2%BFQu%C3%A9%20tan%20el%C3%A1stico%20es%20el,hasta%20que%20alcanzan%20cierta%20def

Páez, E. (2018). *Incidencia en las propiedades mecánicas y físicas de hormigones sometidos a ácido húmico.* Quito.

Pardo, M. (26 de Septiembre de 2019). *Marcelo Pardo Ingeniería*. Obtenido de Resistencia Característica el Hormigon - En facilito: https://marcelopardo.com/resistencia-caracteristica-del-hormigon-en-facilito/

Pillajo, E. (20 de Septiembre de 2015). Ensayo de Materiales II. Quito, Pichicncha, Ecuador.

Soria Pérez , A. P., & Vargas Veloz , L. G. (2019). *Dterminación de la deformación unitaria del hormigón flexible (Ecu) elaborado con micrifibras de polímeros para teoría de diseño a flexión de vigas simplemente armadas.* QUITO: UCE.

Troxell G, D. H., & Wiskocil, C. (1970). *Ensaye e inspección de los materiales.*

UNACEM. (2019). *FICHA TÉCNICA SELVALEGRE.* QUITO: UNACEM.

Zambrano, K. (2020). *360 en concreto*. Obtenido de Encofrados, cimbras o formaletas: las múltiples formas del concreto:

https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/encofrados-cimbras-formaletas

ANEXOS

Ensayos de los agregados.

Características físicas.

Anexo A: Contenido de humedad.

Tabla A1. Contenido de humedad del agregado fino.

Agregado Fino		Muestra #1	Muestra #2	Muestra #3
		Bandeja	Bandeja	Bandeja
		g	g	g
		288,3	102,5	109,7
Masa en estado natural	gr	508	513,3	532,3
Masa seca	gr	489,1	493,8	512,4
Masa de agua	gr	18,9	19,5	19,9
Porcentaje de humedad	%	3,86	3,95	3,88
Porcentaje de diferencia menor de:	0,79%	0,02	0,08	0,07
Promedio	%	3,90		

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla A2. Contenido de humedad del agregado grueso.

Agregado Grueso	Muestra #1	Muestra #2	Muestra #3

		Bandeja	Bandeja	Bandeja
		G	G	g
		315,4	359,6	364,1
Masa en estado natural	Gr	1000,8	1020,5	1020,3
Masa seca	Gr	998,5	1017,7	1016,4
Masa de agua	Gr	2,3	2,8	3,9
Porcentaje de humedad	%	0,23	0,28	0,38
Porcentaje de diferencia menor de:	0,79%	0,15	0,04	0,11
Promedio	%	0,30		

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo B: Granulometría.

Agregado fino.

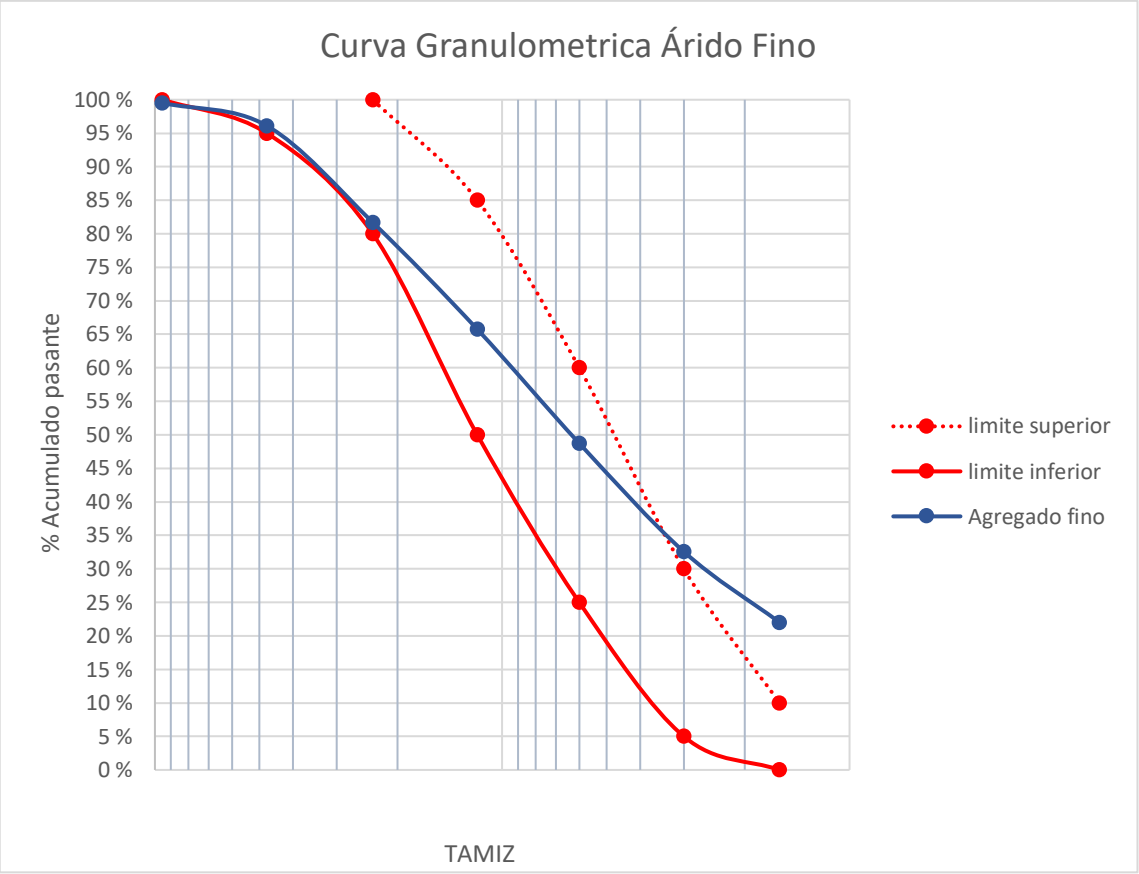
Tabla B1. Granulometría agregado fino.

Masa inicial.	880	g

Malla #		Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Retenido acumulado	% Pasante	Límites especificados NORMA: INEN 872-1	
No.	mm	gr	gr	%	%	%	
3/8 plg	9,51	4,2	4,2	0,48	99,52	100	100
4	4,76	29,8	34	3,89	96,11	95	100
8	2,36	125,9	159,9	18,30	81,70	80	100
16	1,18	139,3	299,2	34,25	65,75	50	85
30	0,6	148,7	447,9	51,27	48,73	25	60
50	0,3	141,2	589,1	67,43	32,57	5	30
100	0,159	92,2	681,3	77,99	22,01	0	10
Bandeja		192,3	873,6	100	0		
Total		873,6					
Módulo de finura		2,5					

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica B1. Granulometría agregado fino.



Fuente: (Barahona, 2020).

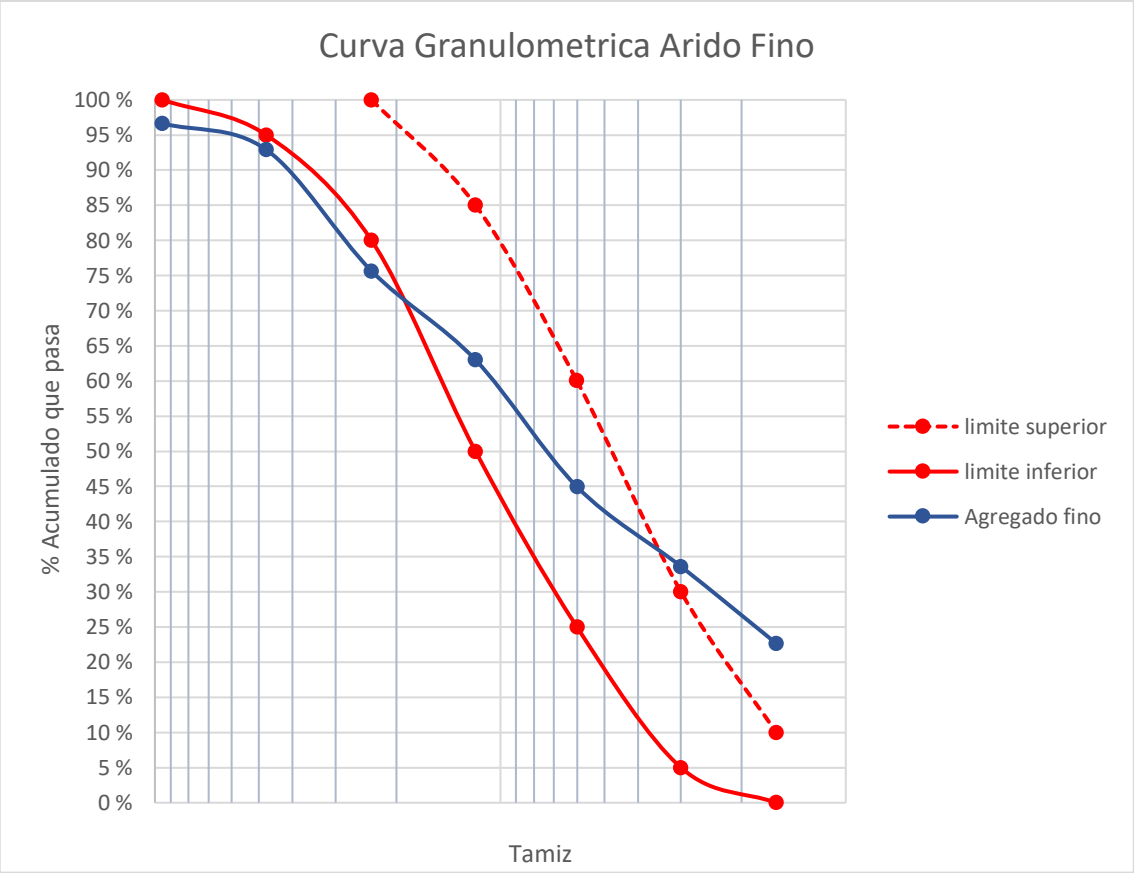
Tabla B2. Granulometría agregado fino.

Masa inicial.	1523,6	g

Malla #		Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Retenido acumulado	% Pasante	Límites especificados NORMA: INEN 872-1	
No.	mm	gr	gr	%	%	%	
3/8 plg	9,51	50,9	50,9	3,4	96,6	100	100
4	4,76	56,7	107,6	7,1	92,9	95	100
8	2,36	261,5	369,1	24,3	75,7	80	100
16	1,18	191,9	561	37,0	63,0	50	85
30	0,6	273,6	834,6	55,0	45,0	25	60
50	0,3	171,9	1006,5	66,4	33,6	5	30
100	0,159	165,9	1172,4	77,3	22,7	0	10
200		137,4	1309,8	86,4	13,6		
Bandeja		206,3	1516,1	100	0		
Total		1516,1					
Módulo de finura		2,71					

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica B2. Granulometría agregado fino.



Fuente: (Barahona, 2020).

Agregado grueso.

Tabla B3. Granulometría agregado grueso.

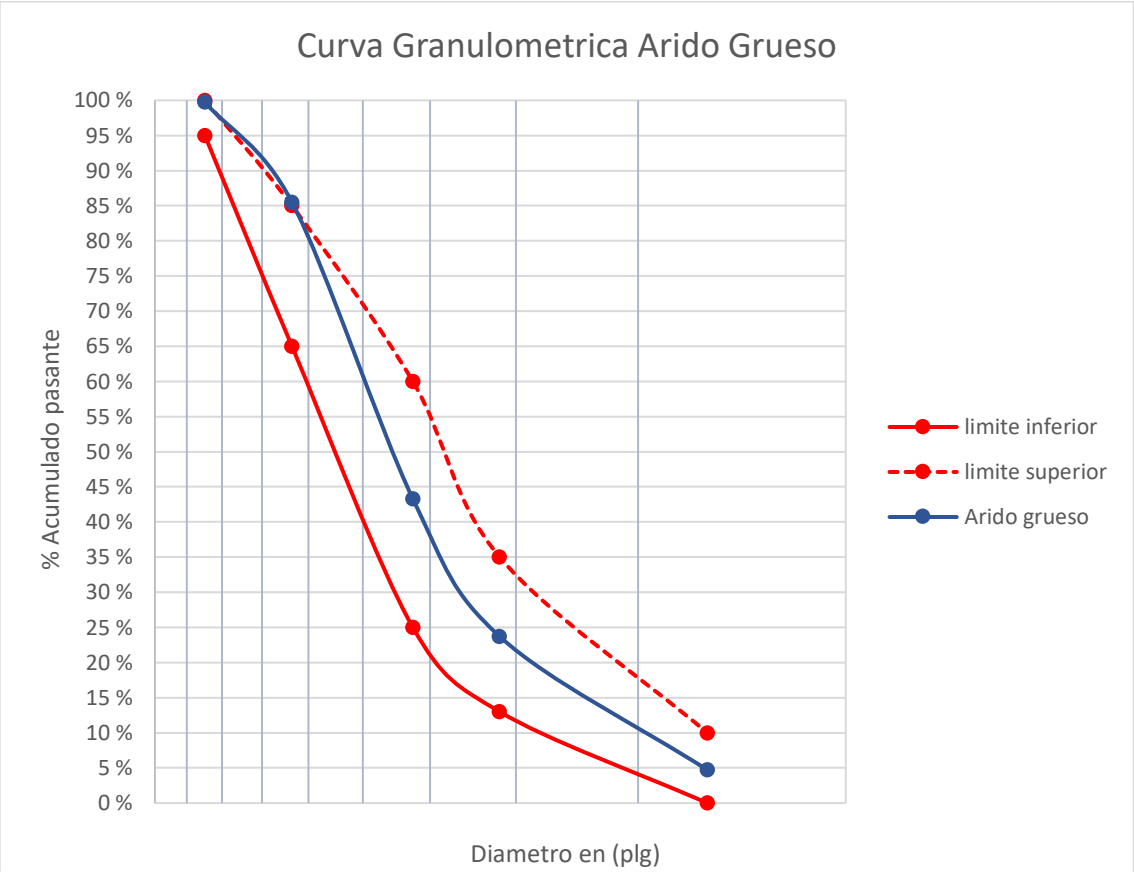
T.M.N.	1	
Masa inicial.	20,01	kg

Malla #		Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Retenido acumulado	% Pasante	Límites especificados NORMA: INEN 872-1	
plg	mm	gr	gr	%	%	%	
1	25,4	55	55	0,3	99,7	95	100
3/4	19	2845	2900	14,5	85,5	65	85
1/2	12,7	8445	11345	56,7	43,3	25	60
3/8	9,51	3920	15265	76,3	23,7	13	35
No. 4	4,76	3800	19065	95,3	4,7	0	10
Pasante No.4		945	20010	100,0	0,0	0	5
Total		20010					

Módulo de finura	6,86

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica B3. Granulometría Agregado Grueso.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla B4. Granulometría Agregado Grueso.

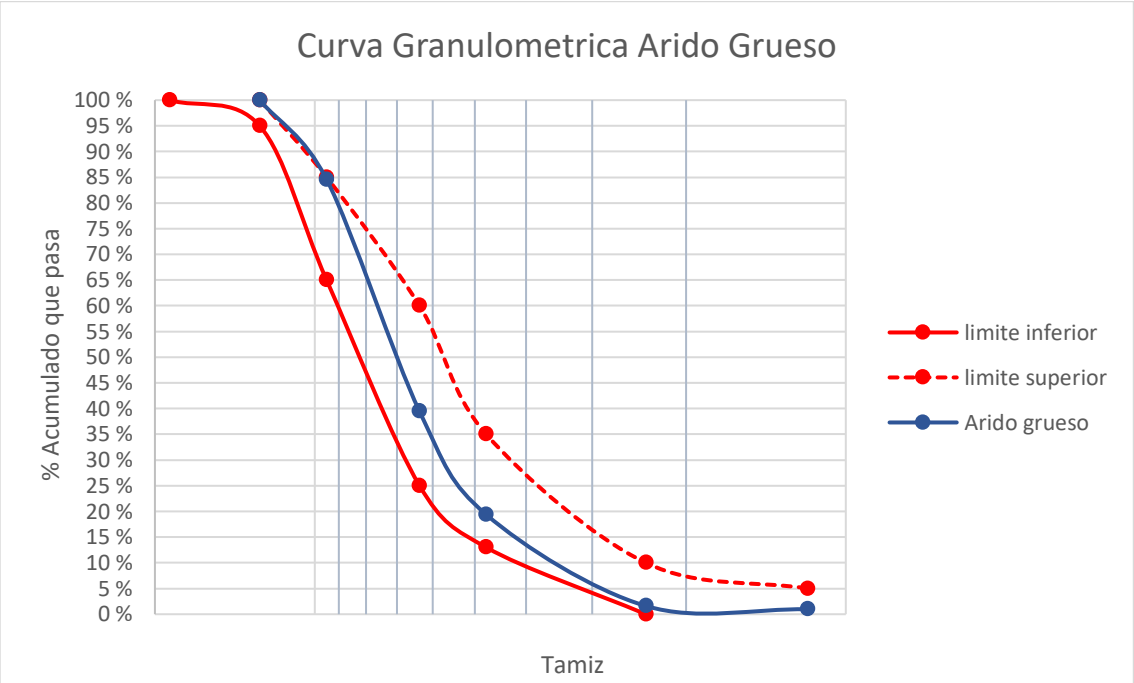
T.M.N.	1	plg
Masa inicial.	20300	kg

Malla #		Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Retenido acumulado	% Pasante	Límites especificados NORMA: INEN 872-1	
plg	mm	gr	gr	%	%	%	
1 1/2	37,5	0	0	0	100	100	100
1	25,4	0	0	0	100	95	100
3/4	19	3130	3130	15,4	84,6	65	85
1/2	12,7	9160	12290	60,5	39,5	25	60
3/8	9,51	4075	16365	80,6	19,4	13	35
No. 4	4,76	3610	19975	98,4	1,6	0	10
No. 8	2,36	130	20105	99,0	1,0	0	5
Pasante No.8		120	20225	99,6			
Total		20225					

Módulo de finura	6,93

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica B4. Granulometría agregado grueso.



Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo C: Porcentaje de material fino.

Tabla C1. Material más fino que pasa el tamiz #200.

Tamiz #200		
Muestra seca	gr	1019,8
Peso de la bandeja	gr	372,1
Muestra seca después del lavado y secado	gr	823,1
Porcentaje del material más fino	%	19,3

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla C2. Material más fino que pasa el tamiz #200.

Tamiz #200		
Muestra seca	gr	1885,9
Peso de la bandeja	gr	369,8
Muestra seca después del lavado y secado	gr	1525,93
Porcentaje del material más fino	%	19,1

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo D: Densidad de los agregados.

Tabla D1. Densidad del Agregado Fino.

Tamaño de la muestra	2,5	kg

Masa de la muestra seca	g	466,46
Masa del picnómetro + agua	g	656,4
Masa del picnómetro + agua + muestra	g	952
Masa de la muestra saturada con superficie seca	g	500

Muestra seca		
Densidad relativa	2,28	
Densidad	2276,39	kg/m^3
Muestra en estado seco con superficie Seca		
Densidad relativa	2,45	
Densidad	2440,07	kg/m^3
Aparente		
Densidad Relativa aparente	2,73	
Densidad aparente	2723,25	kg/m^3

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla D2. Densidad del Agregado Grueso.

Retiene el tamiz 1/2	SSS	5330	Retiene tamiz No.4	SSS	2390
	Sumergida	3192		Sumergida	1433
	Tarro	3095		Tarro	360
	Seco	5180		Seco	2310
Muestra seca					Promedio
Densidad relativa	2,42		2,41		2,42
Densidad	2416,77	kg/m^3	2407,76	kg/m^3	2413,29
Muestra Saturada con Superficie Seca					
Densidad relativa	2,49		2,50		2,49
Densidad	2486,75	kg/m^3	2491,14	kg/m^3	2488,44
Aparente					
Dens. Relativa aparente	2,61		2,63		2,62
Densidad aparente	2599,12	kg/m^3	2627,39	kg/m^3	2609,93
Promedio de granulometría	61,53		38,47		

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo E: Absorción de los agregados.

Tabla E1. Absorción del agregado fino.

Tamaño de la muestra	2,5	kg

Masa de la muestra seca	g	466,46
Masa del picnómetro + agua	g	656,4
Masa del picnómetro + agua + muestra	g	952
Masa de la muestra saturada con superficie seca	g	500
Absorción	%	7,2

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla E2. Absorción del agregado grueso.

SSS	Retiene el tamiz 1/2 (g)	5330	Retiene tamiz No.4 (g)	2390
Sumergida		3192		1433
Tarro		3095		360
Seco		5180		2310
Absorción	%	2,8957529		3,46320346
Promedio	%	3,2		

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo F: Peso unitario de los agregados.

Tabla F1. Peso unitario del agregado fino.

Agregado fino		
Estado del material	Muestra#1	Muestra #2
Compactado (g)	4955	4935
Suelto (g)	4820	4845
Volumen (cm^3)	2738	2738
Masa unitaria o Peso volumétrico		
Compacta (g/cm3)	1,81	1,80
Suelta (g/cm3)	1,76	1,77

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla F2. Peso unitario del agregado grueso.

Agregado grueso		
Estado del material	Muestra#1	Muestra #2
Compactado (g)	9990	9900
Suelto (g)	9450	9365
Volumen (cm^3)	6878	6878
Masa unitaria o Peso volumétrico		
Compacta (g/cm3)	1,45	1,44
Suelta (g/cm3)	1,37	1,36

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo G: Desgaste en la máquina de los ángeles.

Tabla G. Desgaste en la máquina de los ángeles.

Masa		Unidad
Inicial	Retenida en el tamiz N°8	
7000	3325	gramos
Degradación	52,5	%

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo H: Terrones de arcilla.

Tabla H. Terrones de arcilla.

MASA INICIAL DE LA MUESTRA:	178,20	gr.
MASA RETENIDA EN TAMIZ N° 20 DÉSPUES DEL ENSAYO	173,80	gr
PORCENTAJE DE ARCILLA:	2,5	%

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo I: Resistencia a los sulfatos.

Tabla I1. Resistencia a los sulfatos agregado fino.

ÁRIDO FINO							
FRACCION	N° DEL TAMIZ		RETENIDO PARCIAL	MASA ANTES DEL ENSAYO	MASA DESPUES DEL ENSAYO	PASANTE DESPUES DEL ENSAYO	DESGASTE PARCIAL
	PASA	RETIENE					
N°			%	Gr	gr	%	%
1		3/8	1,9	0	0	6,69	0,24
2	3/8	N° 4	3,60	100,10	93,40	6,69	0,24
3	N° 4	N° 8	15,80	100,00	91,90	8,10	1,28
4	N° 8	N° 16	14,30	99,90	85,80	14,11	2,02
5	N° 16	N° 30	17,60	100,0	82,2	17,80	3,13
6	N° 30	N° 50	13,70	100,0	88,9	11,10	1,52
7	N° 50		33,10			11,10	3,67
PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL							8,2

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla I2. Resistencia a los sulfatos agregado grueso.

ÁRIDO GRUESO							
FRACCION	N° DEL TAMIZ		RETENIDO PARCIAL	MASA ANTES DEL ENSAYO	MASA DESPUES DEL ENSAYO	PASANTE DESPUES DEL ENSAYO	DESGASTE PARCIAL
	PASA	RETIENE					
N°			%	Gr	gr	%	%
1		1 ½	0	0	0	2,40	0,00
2	1 1/2	¾	15,40	4500,00	4392,00	2,40	0,37
3	3/4	3/8	65,20	2500,00	2289,00	8,44	5,50
4	3/8	N° 4	17,80	500,00	395,00	21,00	3,74
5	N° 4		1,60			21,00	0,34
PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL							9,9

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo J: Consistencia Normal del Cemento Selva Alegre.

Tabla J. Consistencia normal del cemento.

Consistencia Normal del Cemento		
Masa		
Del agua	Del cemento	Unidad
180	650	gramos
Consistencia	27,69	%

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo K: Tiempo de fraguado del cemento.

Tabla K. Tiempo de fraguado del cemento.

Tiempo de fraguado del cemento.			
Tiempo de fraguado	Método de		Unidad
	Vicat	Gillmore	
INICIAL	195	158	min
FINAL	330	300	min

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo L: Densidad óptima de los agregados.

Tabla L. Densidad óptima de los agregados.

Gravedad específica del cemento		
Cemento SELVALEGRE		
Masa	Volumen	Densidad H2O
gramos	cm^3	g/cm^3
65	21,7	1
Densidad	2,995	g/cm^3
Gravedad específica	2,995	

Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo M: Densidad óptima de los agregados.

Tabla M1. Densidad óptima de los agregados.

Masa del recipiente vacío	1652,7	G
Volumen del recipiente	2735	cm^3

AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO		Masa del recipiente + Mezcla	Masa de la Mezcla	Densidad aparente
%	gramos	%	gramos	gramos	gramos	g/cm^3
100,00	9000,00	0,00	0,00	6042,50	4389,80	1,61
90,00	9000,00	10,00	1000,00	6277,50	4624,80	1,69
80,00	9000,00	20,00	2250,00	6542,50	4889,80	1,79
75,00	9000,00	25,00	3000,00	6647,50	4994,80	1,83
70,00	9000,00	30,00	3857,14	6742,50	5089,80	1,86
65,00	9000,00	35,00	4846,15	6910,00	5257,30	1,92
60,00	9000,00	40,00	6000,00	7080,00	5427,30	1,98
55,00	9000,00	45,00	7363,64	7217,50	5564,80	2,03
50,00	9000,00	50,00	9000,00	7164,00	5511,30	2,02

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica M1. Densidad óptima de los agregados.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla M2. Densidad óptima de los agregados.

Masa del recipiente vacío	8526	G
Volumen del recipiente	9950	cm^3

AGREGADO GRUESO		AGREGADO FINO		Masa del recipiente + Mezcla	Masa de la Mezcla	Densidad aparente
%	gramos	%	gramos	gramos	gramos	g/cm^3
100,00	20000,00	0,00	0,00	22913,50	14387,50	1,45
94,74	20000,00	5,26	1111,11	23891,50	15365,50	1,54
88,89	20000,00	11,11	2500,00	24733,50	16207,50	1,63
85,71	20000,00	14,29	3333,33	25115,50	16589,50	1,67
82,35	20000,00	17,65	4285,71	25429,00	16903,00	1,70
78,79	20000,00	21,21	5384,62	25911,50	17385,50	1,75
75,00	20000,00	25,00	6666,67	26333,50	17807,50	1,79
70,00	20000,00	30,00	8571,43	26756,00	18230,00	1,83
65,00	20000,00	35,00	10769,23	27232,00	18706,00	1,88
60,00	20000,00	40,00	13333,33	27864,00	19338,00	1,94
55,00	20000,00	45,00	16363,64	28470,50	19944,50	2,00
52,68	20000,00	47,32	17964,54	28362,50	19836,50	1,99

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica M2. Densidad óptima de los agregados.



Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo N: Resistencia a la compresión y resistencia característica.

Tabla N1. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
1	12,5	152,3	152,58	30,175	30,062	30,011	0,18	30,08	15,24	1,97341	194,85	182,51	19862,4	108,829	5
2	12,76	154,41	154,45	30,566	30,582	30,558	0,03	30,57	15,44	1,97945	185,1	187,307	18868,5	100,736	5
3	12,54	152,94	153,47	30,454	30,522	30,511	0,35	30,50	15,32	1,99051	192,4	184,347	19612,6	106,39	5
4	11,99	151,03	151,2	29,934	29,977	29,984	0,11	29,97	15,11	1,98293	189,8	179,352	19347,6	107,875	5
5	12	151,37	151,94	29,991	30,01	29,995	0,38	30,00	15,17	1,97809	188,6	180,636	19225,3	106,431	5

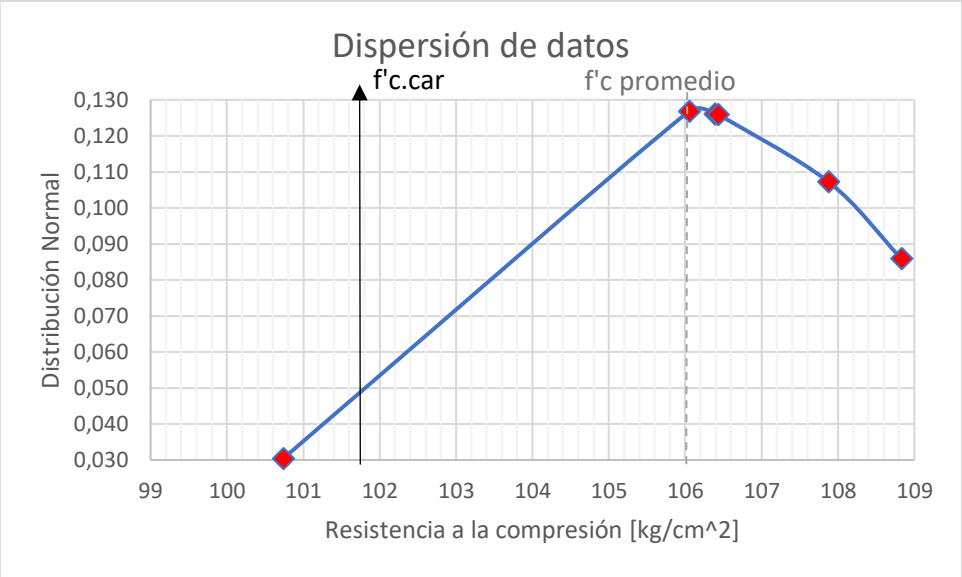
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N1 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
106,0522	3,1446	101,8070	0,0304
			0,1269
			0,1261
			0,1259
			0,1072

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N1 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N2. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
6	12,4	152,42	152,63	30,5	30,4	30,3	0,14	30,40	15,25	1,99312	251,9	182,714	25677,9	140,536	5
7	12,17	151,86	152,51	29,8	30	30	0,43	29,93	15,22	1,9669	266,2	181,9	27135,6	149,178	5
8	12,32	152,67	153,62	30	30	30	0,62	30,00	15,31	1,95893	261,1	184,203	26615,7	144,492	5
9	11,96	149,15	151,52	29,8	29,8	29,8	1,56	29,80	15,03	1,98224	265,3	177,505	27043,8	152,356	5
10	12,77	153,7	154,55	30,1	30,2	30,3	0,55	30,20	15,41	1,95945	276,5	186,568	28185,5	151,074	5

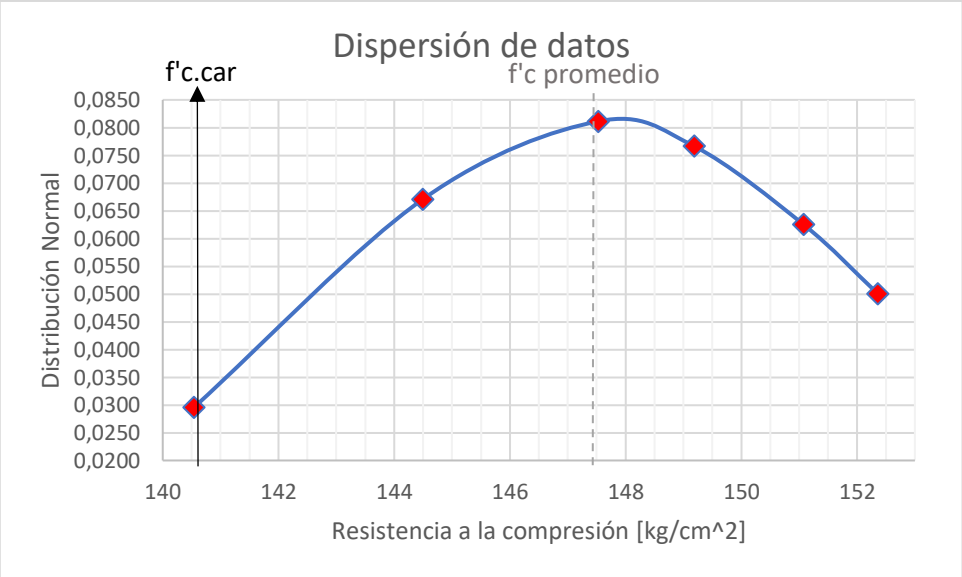
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N2 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
147,5271	4,9171	140,8889	0,0295
			0,0671
			0,0811
			0,0767
			0,0625

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N2 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N3. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
11	12,15	149,91	151,29	30	30	30,3	0,91	30,10	15,06	1,99867	406,7	178,131	41457,7	232,737	5
12	12,17	151,66	151,79	30	30	29,9	0,09	29,97	15,17	1,97506	405,01	180,802	41285,4	228,346	5
13	12,17	151,39	152,66	30	30	30,1	0,83	30,03	15,20	1,97555	413,8	181,518	42181,4	232,382	5
14	12,2	150,82	152,8	30	30	30	1,30	30,00	15,18	1,97615	403,7	181,005	41151,9	227,352	5
15	12,26	151,13	151,25	30	30	30,1	0,08	30,03	15,12	1,98646	410,7	179,53	41865,4	233,195	5

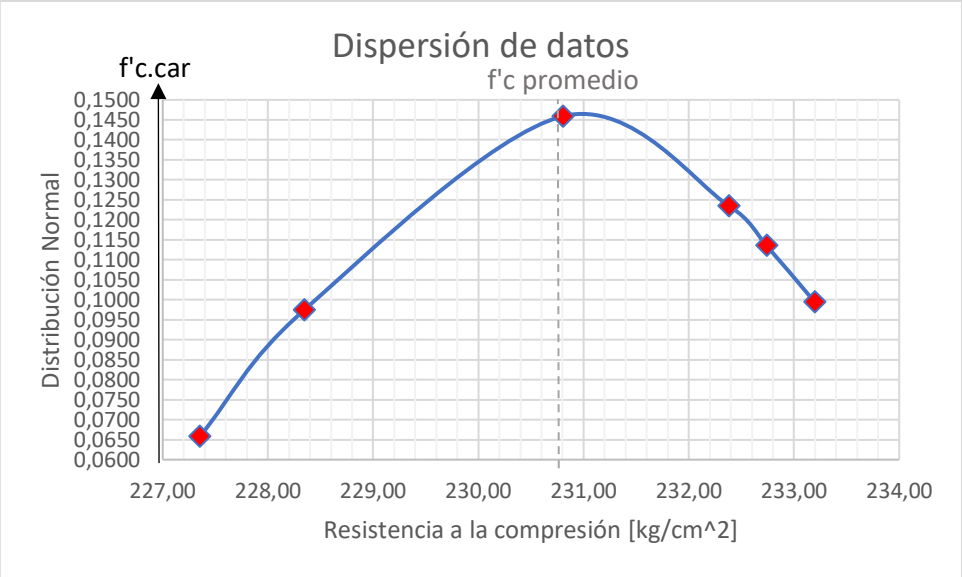
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N3 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
230,8023	2,7341	227,1112	0,0658
			0,0974
			0,1459
			0,1235
			0,1136

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N3 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N4. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA-111.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
16	11,67	150,47	151,15	29,7	29,7	29,4	0,45	29,60	15,08	1,96273	251,7	178,628	25657,5	143,636	5
17	12,14	152,28	153,39	30	29,7	29,6	0,72	29,77	15,28	1,94763	254,15	183,458	25907,2	141,217	5
19	11,95	153,21	153,49	29,6	29,7	29,5	0,18	29,60	15,34	1,93022	265,9	184,696	27105	146,755	5
19	12,25	152,17	152,58	29,7	29,7	30	0,27	29,80	15,24	1,9557	260,1	182,355	26513,8	145,397	5
20	11,97	151,47	151,59	29,8	29,8	30	0,08	29,87	15,15	1,97101	258,9	180,338	26391,4	146,344	4

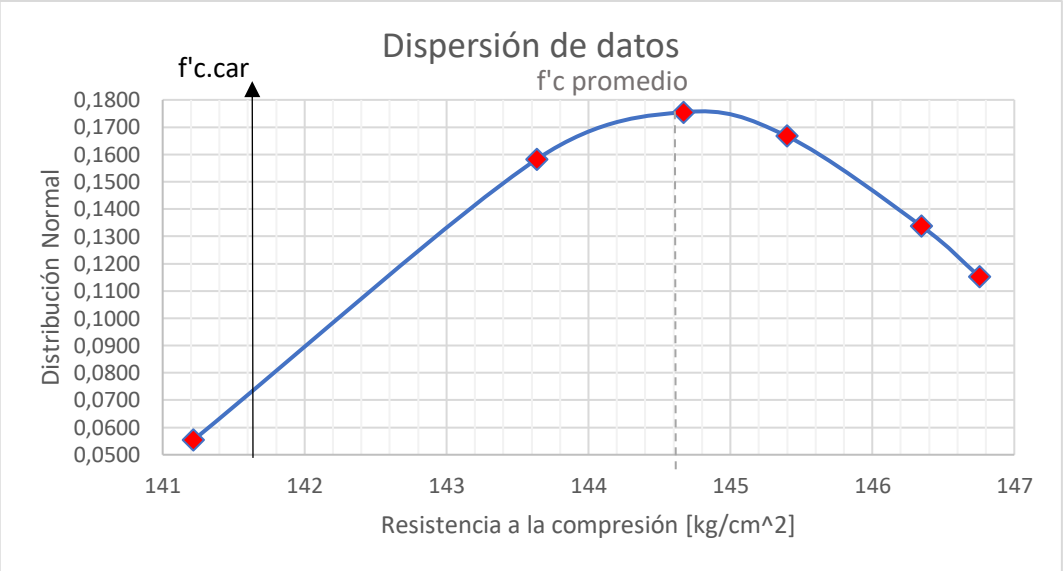
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N4 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA-111.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
144,6697	2,2733	141,6007	0,0554
			0,1583
			0,1755
			0,1667
			0,1338

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N4 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N5. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA-111.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
21	12,47	153,84	153,93	30	30	30	0,06	30,00	15,39	1,94951	340,9	185,987	34750,3	186,842	5
22	11,97	151,42	151,83	29,7	29,7	29,5	0,27	29,63	15,16	1,95438	321,8	180,564	32803,3	181,671	5
23	11,81	150,13	150,91	29,4	29,5	29,6	0,52	29,50	15,05	1,95987	350	177,942	35677,9	200,503	5
24	11,95	150,95	151,94	30	30	29,7	0,65	29,90	15,14	1,97431	347	180,136	35372,1	196,363	5
25	12,58	153,14	153,77	30,3	30,3	30,4	0,41	30,33	15,35	1,97669	347,84	184,949	35457,7	191,716	5

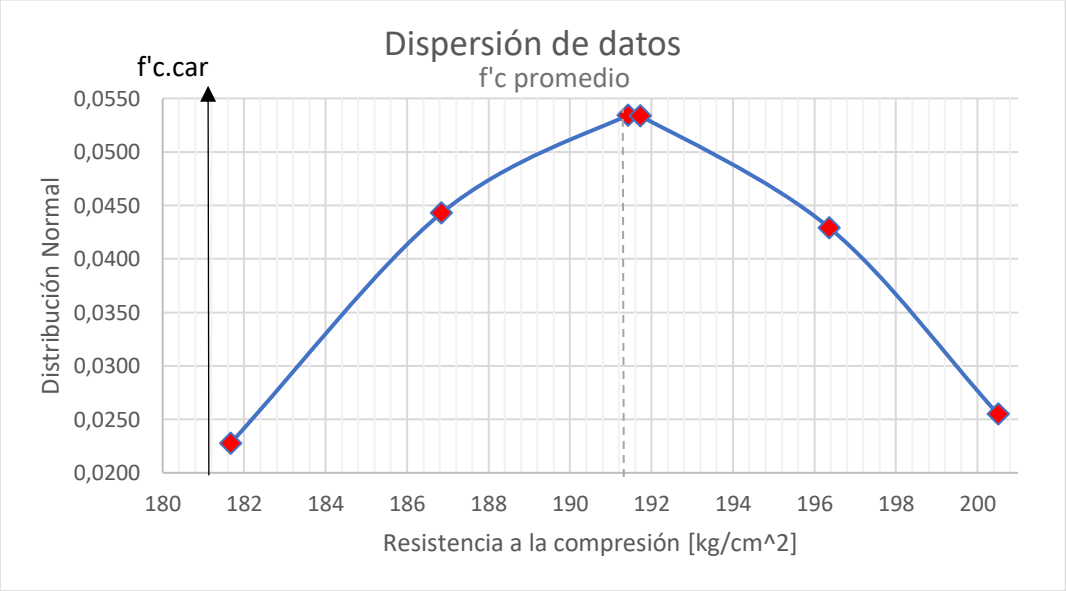
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N5 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
191,4192	7,4670	181,3388	0,0228
			0,0443
			0,0534
			0,0534
			0,0429

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N5 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N6. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA-111.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
26	12,37	151,02	151,74	30	29,6	30	0,47	29,87	15,14	1,97296	439,6	179,981	44811,4	248,978	5
27	12,08	152,15	152,49	29,8	29,8	29,8	0,22	29,80	15,23	1,95641	428	182,223	43629	239,426	5
28	12	151,53	151,6	29,7	29,6	30	0,05	29,77	15,16	1,96395	480,1	180,421	48939,9	271,253	4
29	12,39	152,03	152,25	30	30,2	30,3	0,14	30,17	15,21	1,98282	488,5	181,793	49796,1	273,917	4
30	11,87	150,06	150,1	29,9	29,8	30	0,03	29,90	15,01	1,99227	476,6	176,903	48583,1	274,631	5

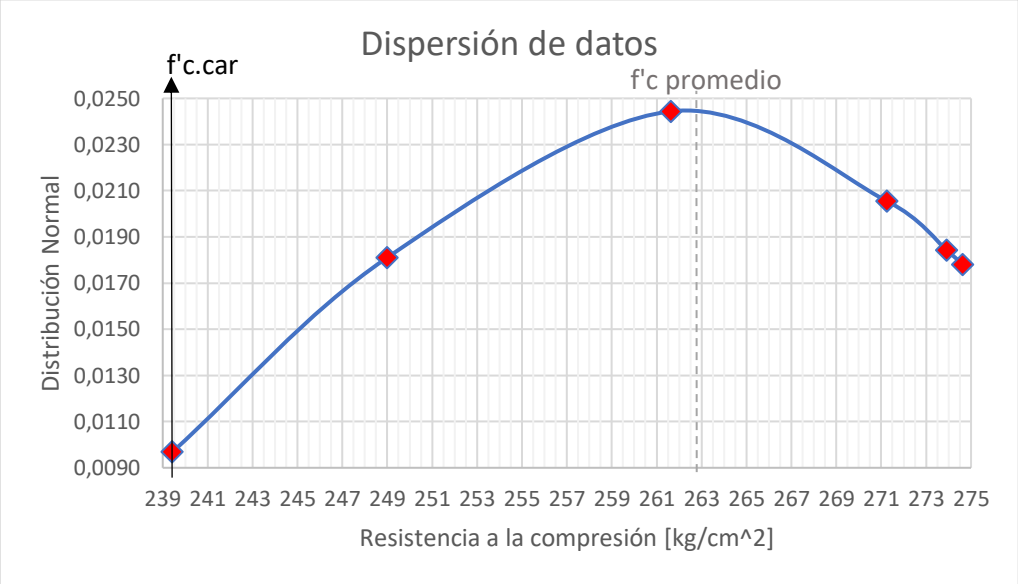
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N6 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
261,6411	16,3224	239,6058	0,0097
			0,0181
			0,0244
			0,0206
			0,0184

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N6 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N7. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
31	12,41	151,43	151,53	30,1	30,2	30,3	0,07	30,20	15,15	1,993663	266,7	180,219	27186,5	150,8529	5
32	12,1	151,33	151,91	30	30	29,9	0,38	29,97	15,16	1,976432	260,6	180,552	26564,7	147,1304	5
33	12,45	151,38	151,72	30,4	30,4	30	0,22	30,27	15,16	1,997141	255,1	180,386	26004,1	144,1583	5
34	11,91	149,63	149,71	29,9	29,9	30	0,05	29,93	14,97	1,999955	261,8	175,938	26687,1	151,6845	5
35	12,31	151,46	151,53	30,5	30,3	30,2	0,05	30,33	15,15	2,002266	268,1	180,255	27329,3	151,6147	5

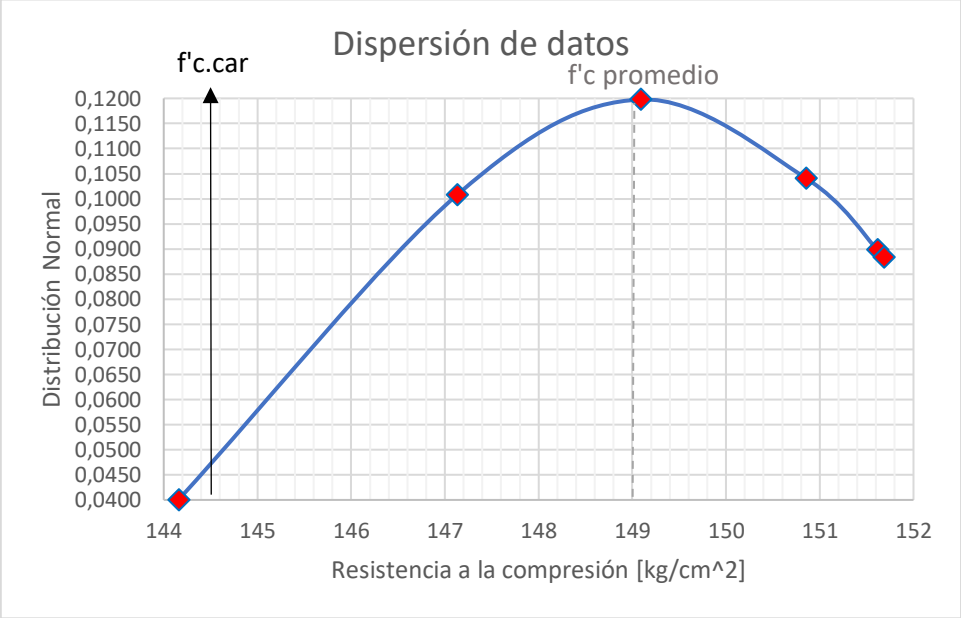
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N7 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
149,0882	3,3307	144,5917	0,0401
			0,1008
			0,1198
			0,1041
			0,0898

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N7 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N8. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
36	12,51	151,84	152,61	30,4	30,4	30,3	0,50	30,37	15,22	1,994854	366,8	181,996	37390,4	205,4464	4
37	12,46	151,59	152,73	30,5	30,5	30,6	0,75	30,53	15,22	2,00666	367,6	181,841	37472	206,0704	4
38	12,32	152,01	152,41	30,7	31	30,9	0,26	30,87	15,22	2,0279	382,4	181,96	38980,6	214,2262	5
39	12,43	151,6	151,66	30,5	30,5	30,6	0,04	30,53	15,16	2,013674	352,7	180,576	35953,1	199,1023	4
40	12,52	151,63	152,069	30,5	30,5	30,4	0,29	30,47	15,18	2,006373	389,1	181,099	39663,6	219,0159	5

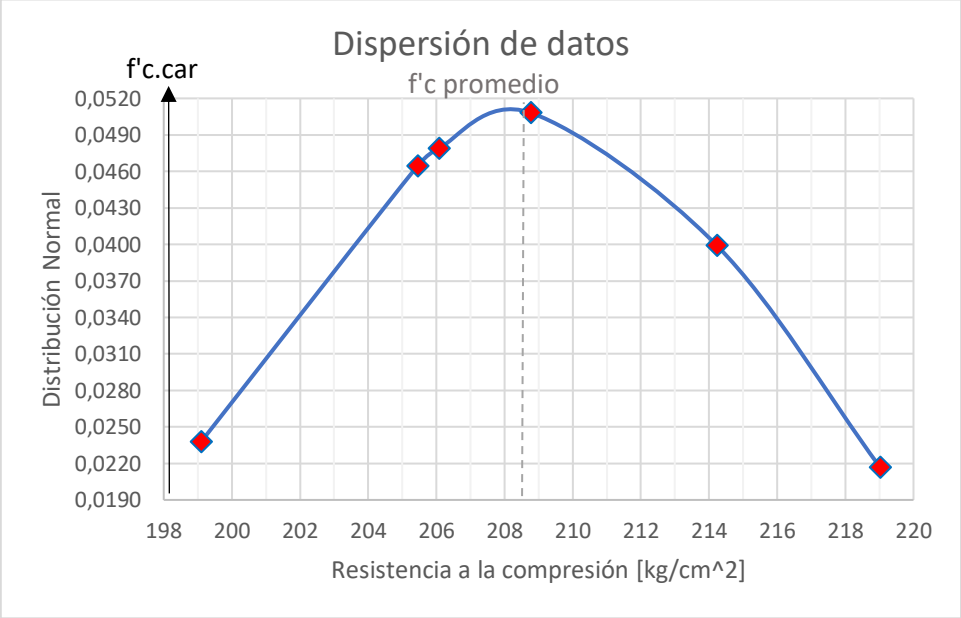
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N8 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
208,7722	7,8509	198,1735	0,0238
			0,0465
			0,0479
			0,0508
			0,0399

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N8 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N9. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
41	12,42	151,4	152,56	30,3	30,4	30,5	0,76	30,40	15,20	2,000263	489,2	181,411	49867,5	274,8873	5
42	12,28	152,28	152,28	30	30,1	30,2	0,00	30,10	15,23	1,976622	488,1	182,128	49755,4	273,1896	5
43	12,41	151,3	152,6	30,2	30	30,5	0,85	30,23	15,20	1,98969	476,9	181,339	48613,7	268,0816	5
44	12,52	151,6	152,4	30	30	30	0,52	30,00	15,20	1,973684	480,3	181,458	48960,2	269,8153	5
45	12,37	151,5	152,2	31,2	30,8	30,5	0,46	30,83	15,19	2,030513	485,6	181,1	49500,5	273,3318	5

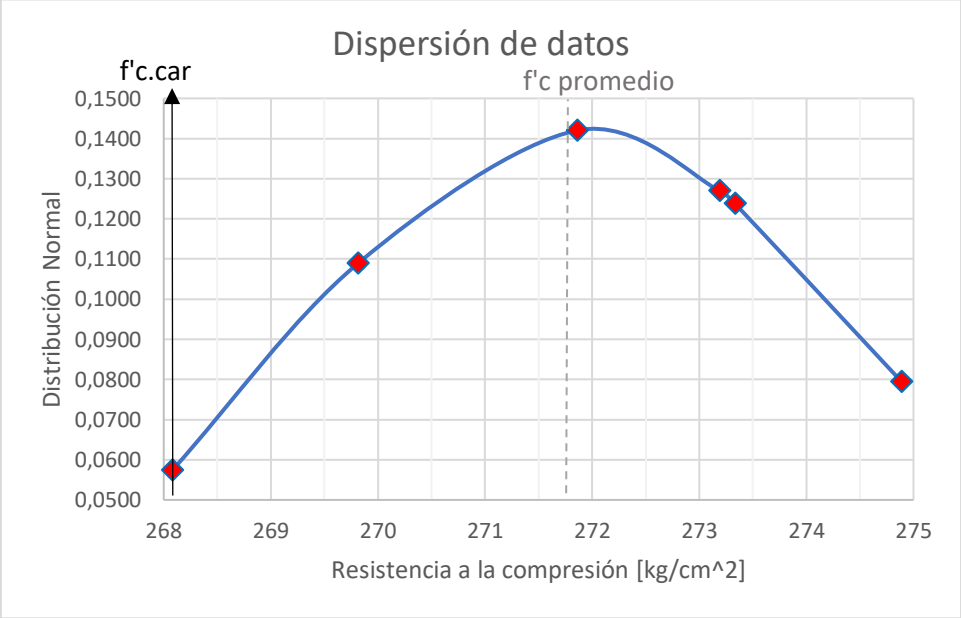
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N9 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
271,8611	2,8087	268,0693	0,0574
			0,1089
			0,1420
			0,1270
			0,1238

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N9 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N10. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
46	12,16	150,99	151,23	30	30,2	30	0,16	30,07	15,11	1,98972	237,8	179,34	24240,6	135,166	5
47	12,33	151,57	151,57	30,6	30,4	30	0,00	30,33	15,16	2,00128	230,45	180,433	23491,3	130,194	5
48	12,59	154,55	154,89	30,3	30,3	30,5	0,22	30,37	15,47	1,96269	258,2	188,011	26320,1	139,992	5
49	12,6	151,49	151,7	30,4	30,5	30,6	0,14	30,50	15,16	2,01194	257,2	180,493	26218,1	145,259	4
50	12,43	151,73	152,21	30,4	30,4	30,4	0,32	30,40	15,20	2,00039	257,2	181,387	26218,1	144,543	5

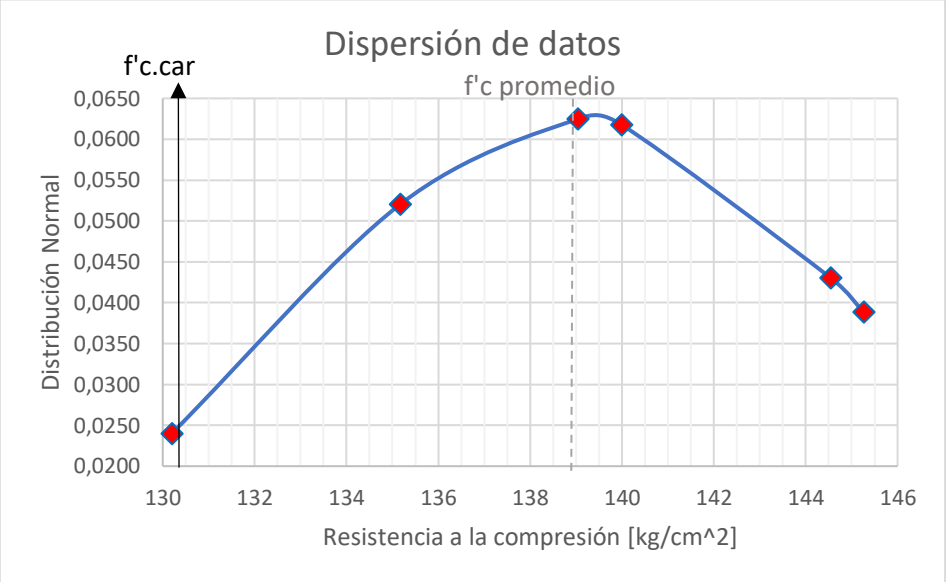
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N10 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
139,0307	6,3859	130,4098	0,0240
			0,0520
			0,0625
			0,0618
			0,0430

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N10 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N11. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
51	12,15	150,98	151,86	30,5	30,5	30,2	0,58	30,40	15,14	2,00766	359,1	180,076	36605,5	203,278	5
52	12,59	152,63	152,94	30	30	30	0,20	30,00	15,28	1,96354	342,6	183,338	34923,5	190,488	4
53	12,25	151,91	151,98	30	30	30	0,05	30,00	15,19	1,9744	334,9	181,327	34138,6	188,271	5
54	12,4	152,6	153,21	30,2	30,2	30	0,40	30,13	15,29	1,97072	350,1	183,626	35688,1	194,352	4
55	12,15	151,98	152,36	29,8	30	30	0,25	29,93	15,22	1,9671	344,7	181,865	35137,6	193,208	5

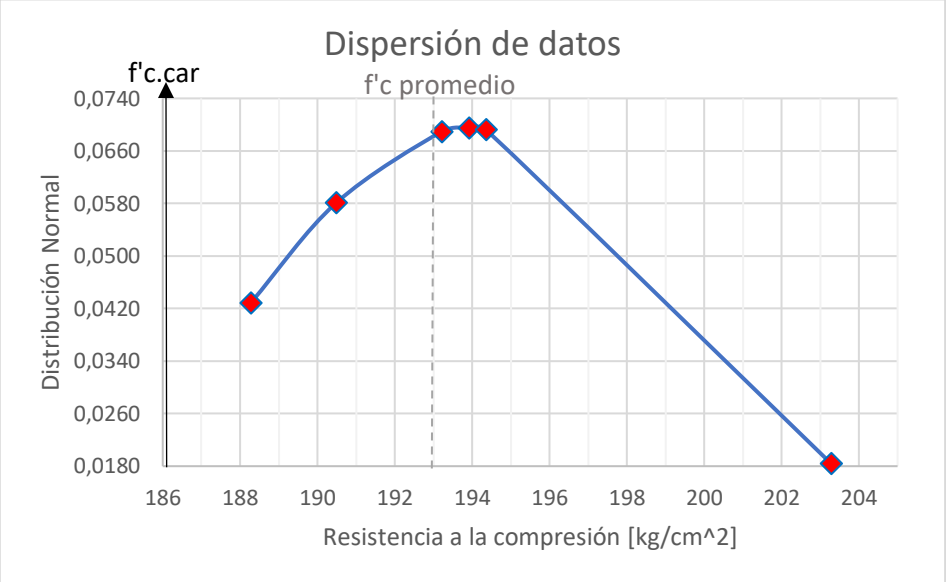
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N11 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
193,9193	5,7436	186,1655	0,0428
			0,0581
			0,0689
			0,0695
			0,0693

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N11 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N12. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
56	12,08	151,73	151,98	29,9	29,9	30	0,16	29,93	15,19	1,97118	525,3	181,112	53547,4	295,658	4
57	12,44	152,71	152,94	30	30	29,9	0,15	29,97	15,28	1,96085	515,7	183,434	52568,8	286,582	4
58	12,5	152,27	152,61	30	30	30	0,22	30,00	15,24	1,96799	515,8	182,51	52579	288,088	5
59	12,54	152,38	152,8	30,5	30,5	30,5	0,27	30,50	15,26	1,99882	513,3	182,87	52324,2	286,128	4
60	12,48	151,96	152,81	30,3	30,3	30,4	0,56	30,33	15,24	1,99057	521,2	182,379	53129,5	291,314	5

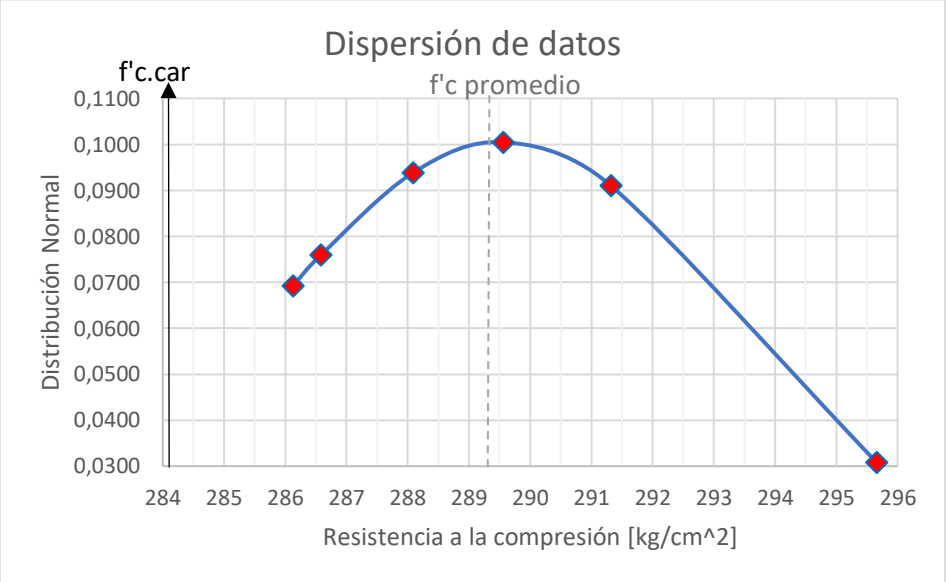
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N12 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
289,5540	3,9712	284,1930	0,0692
			0,0759
			0,0938
			0,1005
			0,0911

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N12 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N13. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
61	12,16	152,1	152,36	30,2	30,6	30,6	0,17	30,47	15,22	2,00136	321,9	182,008	32813,5	180,286	5
62	12,33	149,08	150,28	30	30	30	0,80	30,00	14,97	2,00428	284,9	175,961	29041,8	165,046	5
63	12,59	150,75	151,15	30	30	30,1	0,26	30,03	15,10	1,98962	279,1	178,96	28450,6	158,977	5
64	12,6	153,3	154,14	30,5	30,5	30,5	0,54	30,50	15,37	1,98413	330	185,588	33639,1	181,257	5
65	12,43	153,24	154,15	30,5	30,3	30,3	0,59	30,37	15,37	1,97577	277,7	185,528	28307,8	152,58	5

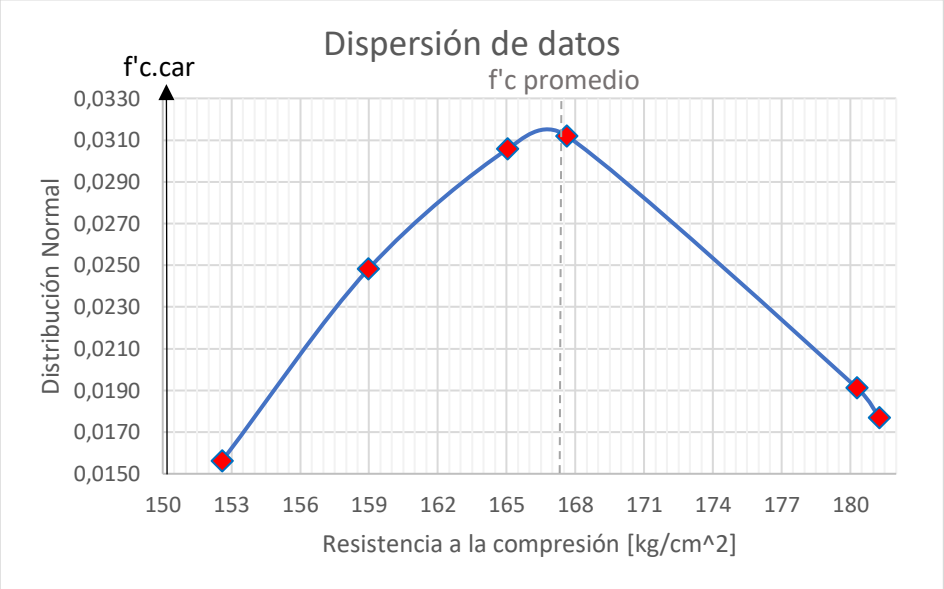
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N13 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
167,6292	6,7858	150,3684	0,0156
			0,0248
			0,0306
			0,0312
			0,0191

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N13 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N14. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
66	12,18	151,3	152,54	30,1	30,1	30,1	0,81	30,10	15,19	1,98131	386,2	181,267	39368	217,182	5
67	12,1	150,3	150,98	30,2	30,2	30	0,45	30,13	15,06	2,00035	389	178,226	39653,4	222,49	5
68	12,24	151,19	151,7	30	30	30,2	0,34	30,07	15,14	1,98532	380	180,136	38736	215,038	5
69	12,19	151,65	151,75	30	30	30,1	0,07	30,03	15,17	1,97978	387,9	180,743	39541,3	218,771	4
70	12,71	153,45	153,92	30,4	30,4	30,5	0,31	30,43	15,37	1,98024	373,3	185,504	38053	205,133	5

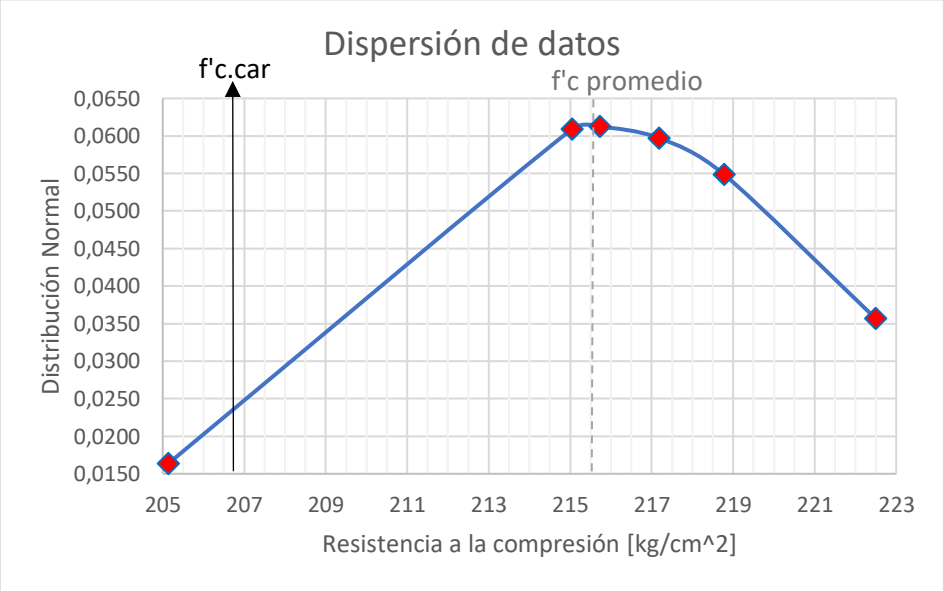
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N14 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
215,7227	6,5157	206,9265	0,0163
			0,0609
			0,0612
			0,0597
			0,0549

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N14 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N15. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
71	12,75	153,19	153,99	30,4	30,4	30,4	0,52	30,40	15,36	1,9793	627,8	185,275	63995,9	345,411	4
72	12,16	151,05	151,58	30	30	30,1	0,35	30,03	15,13	1,98482	624,4	179,827	63649,3	353,948	5
73	12,5	151,55	152,1	30,5	30,5	30,4	0,36	30,47	15,18	2,0067	581,1	181,041	59235,5	327,194	5
74	12,75	153,5	153,56	30,3	30,4	30,5	0,04	30,40	15,35	1,98007	552,3	185,13	56299,7	304,109	4
75	12,13	151,18	151,6	30	30	30	0,28	30,00	15,14	1,98164	604,4	180,005	61610,6	342,272	4

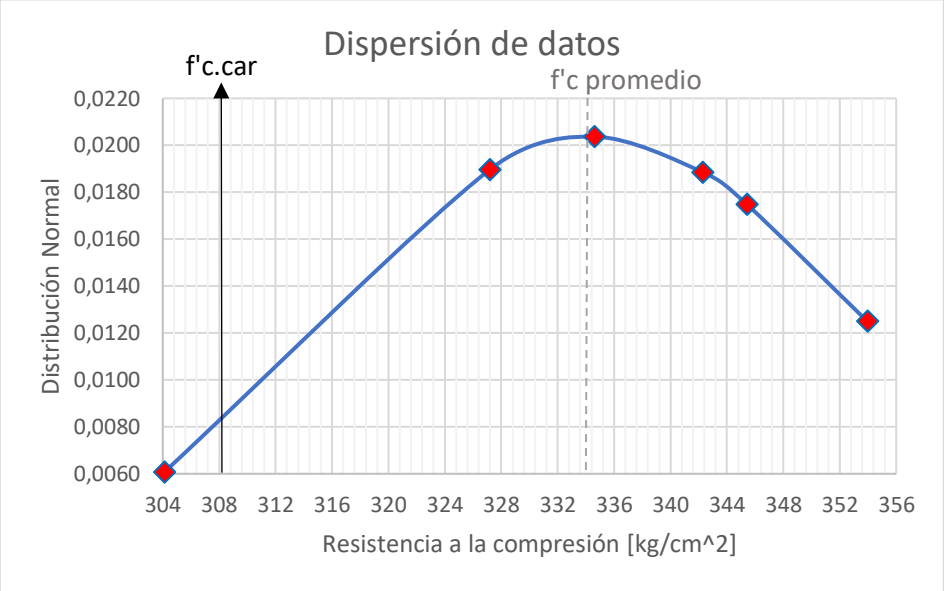
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N15 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
334,5870	5,5872	308,1442	0,0061
			0,0190
			0,0204
			0,0189
			0,0175

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N15 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA-111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N16. Cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
76	12,34	150,9	151,53	30	30	30	0,42	30,00	15,12	1,9839302	287	179,589	29255,861	162,90457	5
77	12,71	152,95	153	30,4	30,4	30,3	0,03	30,37	15,30	1,9850738	315	183,794	32110,092	174,70718	4
78	12,67	151,82	152,54	31	30,3	30,5	0,47	30,60	15,22	2,0107767	309,9	181,888	31590,214	173,67909	4
79	12,54	152,13	152,24	30,4	30,5	30,2	0,07	30,37	15,22	1,9953784	299,6	181,9	30540,265	167,89556	4
80	12,31	150,8	151,07	30,1	29,5	29,9	0,18	29,83	15,09	1,9765683	288,9	178,924	29449,541	164,592	5

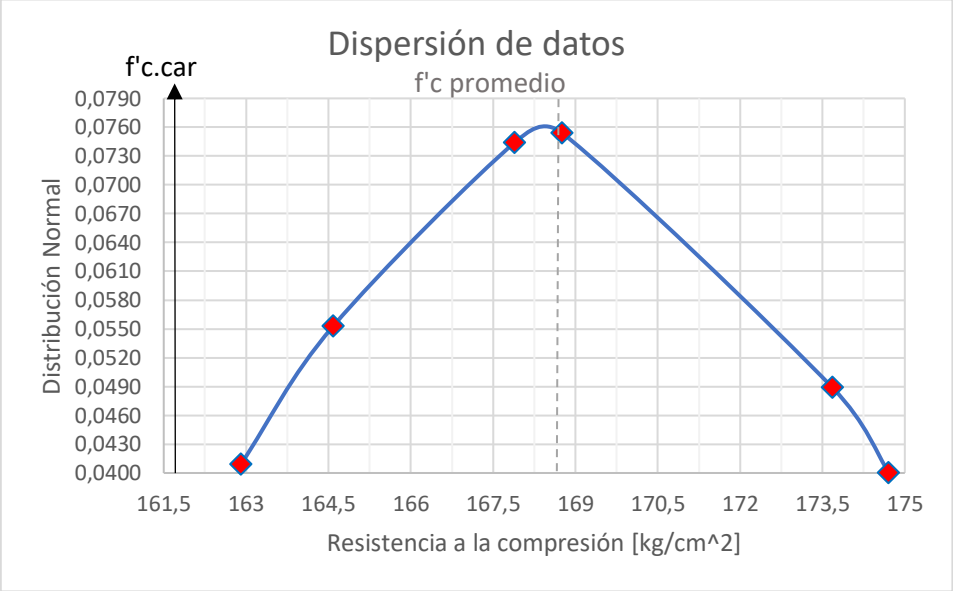
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N16 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
168,7557	5,2908	161,6131	0,0409
			0,0553
			0,0744
			0,0754
			0,0489

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N16 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 3 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N17. Cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
81	12,37	151,78	152,54	30	30	30	0,50	30,00	15,22	1,9716088	443,9	181,841	45249,745	248,8429	4
82	12,71	153,07	153,86	30,4	30,4	30,4	0,51	30,40	15,35	1,9809077	415,3	184,973	42334,353	228,86762	5
83	12,25	150,82	151,58	29,8	30,2	30,3	0,50	30,10	15,12	1,9907407	411,4	179,553	41936,799	233,5618	5
84	12,67	153,27	153,7	30,4	30,5	30,5	0,28	30,47	15,35	1,9849931	451,6	185,021	46034,659	248,80733	4
85	12,35	151,96	152,53	29,9	30	30,1	0,37	30,00	15,22	1,9705081	438,9	182,044	44740,061	245,76533	4

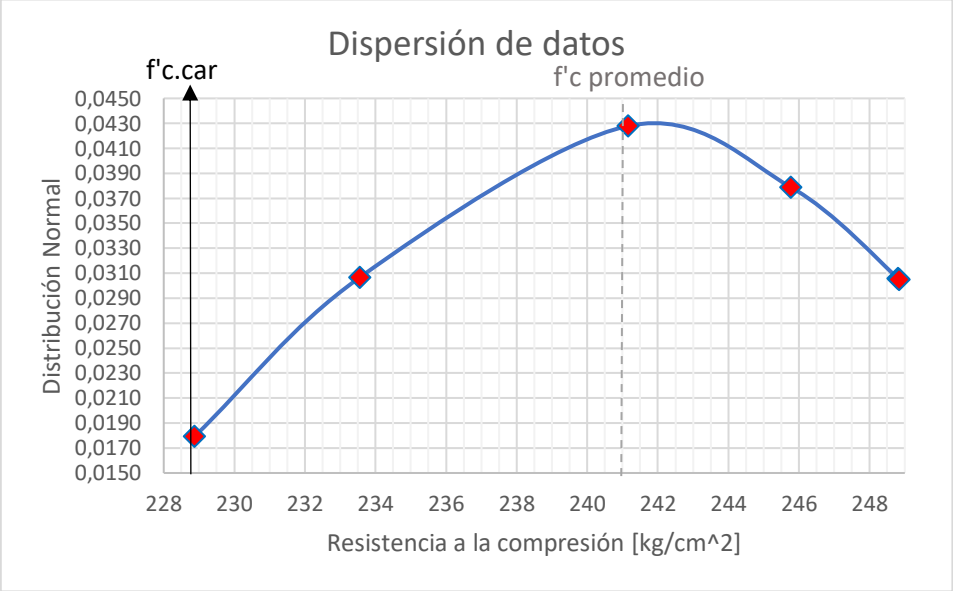
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N17 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
241,1690	9,3214	228,5851	0,0179
			0,0307
			0,0428
			0,0379
			0,0306

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N17 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 7 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N18. Cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

Probeta	Peso	b1	b2	h1	h2	h3	Norma INEN 1 573	Promedios		Relación	Carga max	Área	Compresión		
#	kg	mm	mm	cm	cm	cm	2% Diámetro	Long.	Diam.	L/D	KN	cm^2	Fuerza	Resis.	Falla
86	12,4	151,2	151,63	30,1	30	30,1	0,28	30,07	15,14	1,9857126	633,8	180,064	64607,543	358,80257	5
87	12,6	150,6	151,7	30,2	30,1	30	0,73	30,10	15,12	1,9913993	641,2	179,435	65361,876	364,26574	5
88	12,9	152,3	152,9	30	30	30	0,39	30,00	15,26	1,965924	618,3	182,894	63027,523	344,61271	5
89	12,7	153,4	154,9	30,1	30,2	30,1	0,97	30,13	15,42	1,9548059	635,4	186,628	64770,642	347,05736	5
90	12,45	152,6	152,7	30,2	30,1	30,1	0,07	30,13	15,27	1,9740146	620,5	183,014	63251,784	345,61237	5

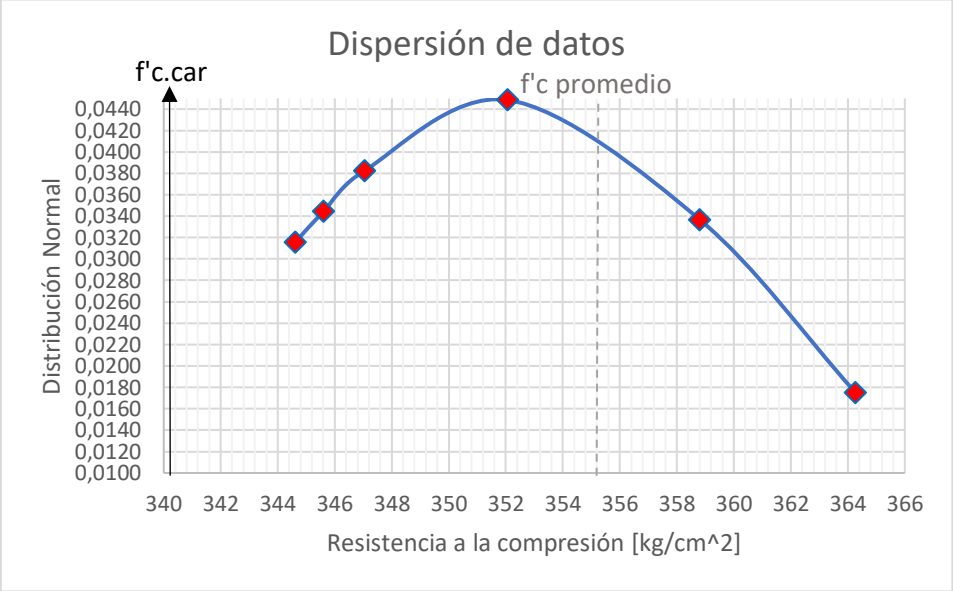
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla N18 A. Resistencia característica, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

Media kg/cm^2	Desviación estándar	f´c.car	Distribución Normal
352,0701	8,8953	340,0616	0,0316
			0,0345
			0,0383
			0,0448
			0,0337

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica N18 A. Dispersión de las resistencias, cilindros ensayados a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

Anexo O: Módulo de elasticidad.

Tabla O1 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276.

Altura del equipo		200	
Eg		129,11	
Er		126,41	
K		0,494716656	
PROBETA #11			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
N	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	2	0,0	0,00001
25016	32	14,3	0,00008

50284	67	28,8	0,00016
75165	103	43,0	0,00025
100190	138	57,3	0,00034
125081	174	71,6	0,00043
150603	207	86,2	0,00051
175166	241	100,2	0,00060
200246	281	114,6	0,00070
225123	323	128,8	0,00080
250879	372	143,6	0,00092
275079	424	157,4	0,00105
300587	482	172,0	0,00119
310936	508	177,9	0,00126
320975	535	183,7	0,00132
325286	545	186,1	0,00135
330145	559	188,9	0,00138
335846	576	192,2	0,00143
340406	590	194,8	0,00146
345966	607	198,0	0,00150
350200	623	200,4	0,00154
355435	641	203,4	0,00158
360176	659	206,1	0,00163
365837	682	209,4	0,00169
370309	705	211,9	0,00174
375170	733	214,7	0,00181
380178	787	217,6	0,00195
380644	810	217,8	0,00200
380708	816	217,9	0,00202
380437	821	217,7	0,00203
377255	834	215,9	0,00206
372733	837	213,3	0,00207

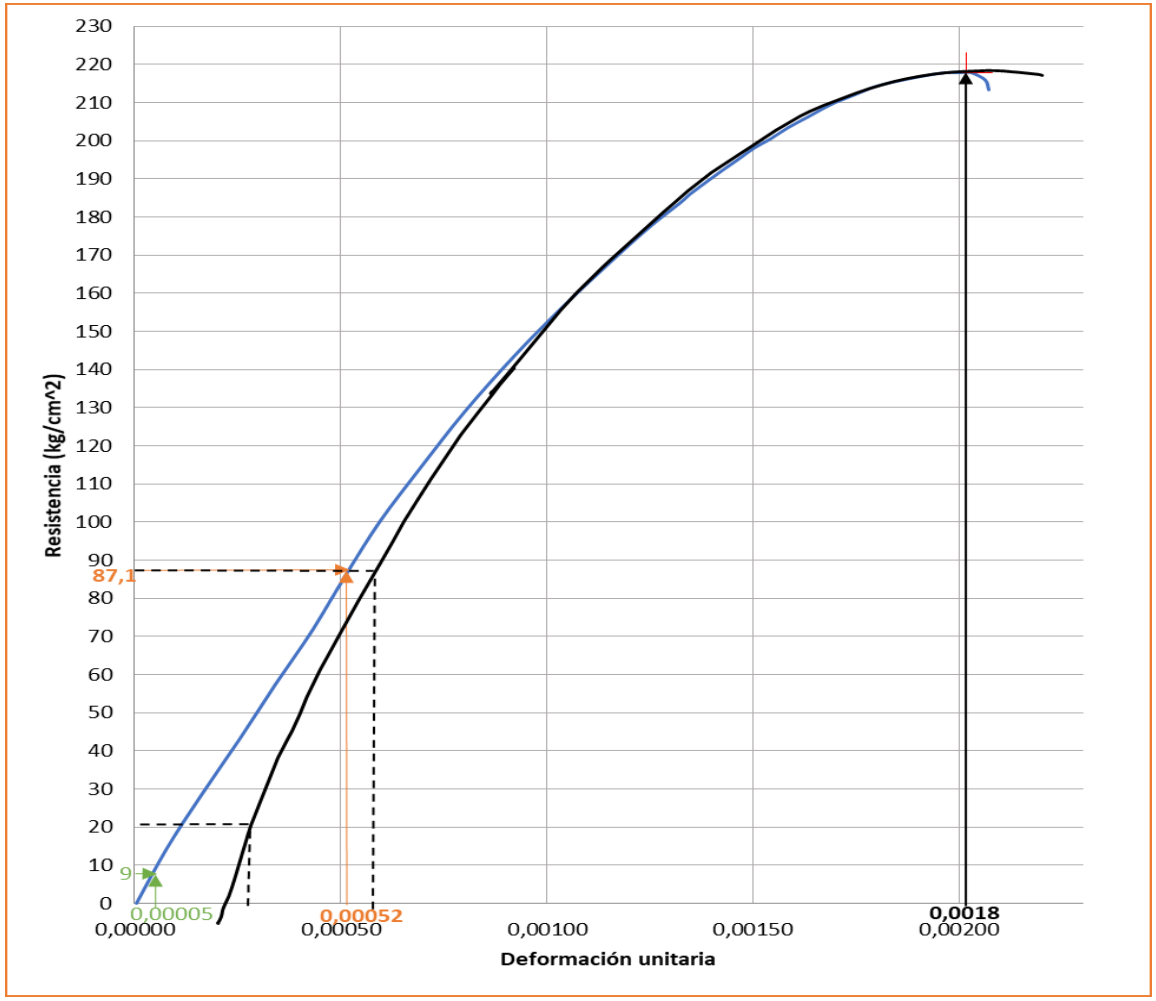
Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O1 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276.

PROBETA #11		
T máx.	217,71	kg/cm^2
40% T máx.	87,08	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00052	mm/mm
$T_{0,00005}$	9	kg/cm^2
Módulo de Elas.	16292	Mpa
CORRECCIÓN		
$T_{0,00005}$	22	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00036	mm/mm
ε T máx.	0,0018	mm/mm
δ Probeta 11	2,27	T/m^3
COMPROBACIÓN		
$\alpha 1$	14566	
$\alpha 2$	14229	
Módulo de Elas.	209946	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O1 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O1 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276.

Altura del equipo		200	
Eg		124,81	
Er		129,74	
K		0,509683756	
PROBETA #12			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
N	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	0	0,0	0,00000
25099	26	14,2	0,00007
50678	59	28,6	0,00015
75246	95	42,4	0,00024
100066	133	56,4	0,00034
125150	176	70,6	0,00045
150547	221	84,9	0,00056
175172	266	98,8	0,00068
200921	316	113,3	0,00081
225192	363	127,0	0,00092
250718	416	141,4	0,00106
275751	473	155,5	0,00120
300089	533	169,2	0,00136
310258	557	174,9	0,00142
320677	581	180,8	0,00148
325239	592	183,4	0,00151
330350	607	186,3	0,00155
335934	621	189,4	0,00158
340327	633	191,9	0,00161
345174	648	194,6	0,00165
350686	664	197,7	0,00169
355609	677	200,5	0,00173
360974	693	203,5	0,00177
365312	709	206,0	0,00181
370419	724	208,8	0,00185
375178	743	211,5	0,00189
380460	760	214,5	0,00194
385005	776	217,1	0,00198
380001	779	214,2	0,00199
375962	784,55	212,0	0,00200

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O1 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276.

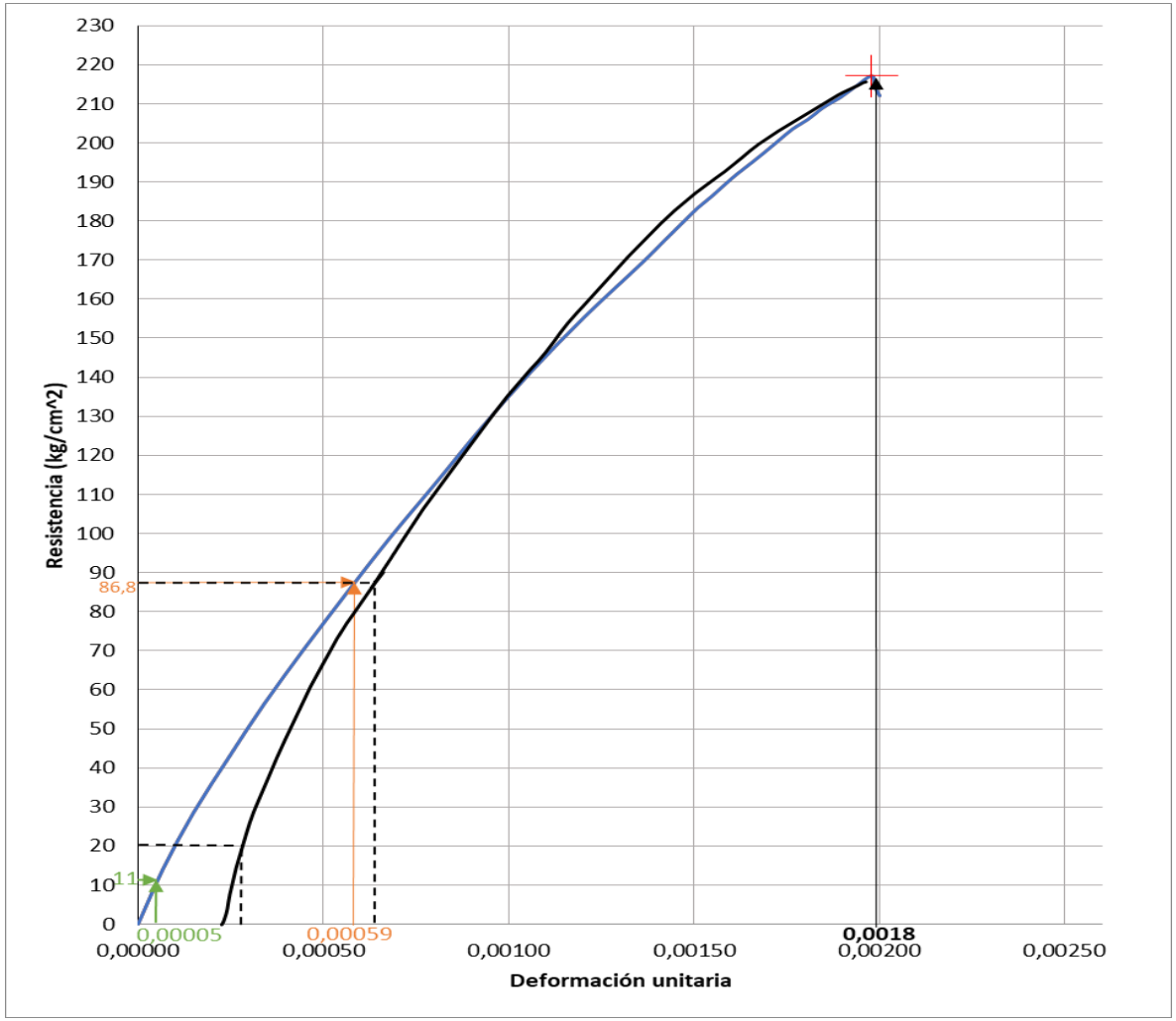
PROBETA #12		
T máx.	217,1	kg/cm^2
40% T máx.	86,83	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00059	mm/mm
$T_{0,00005}$	11	kg/cm^2
Módulo de Elas.	13771	Mpa

CORRECCIÓN		
$T_{0,00005}$	20	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00037	mm/mm
ε T máx.	0,0018	mm/mm
δ Probeta 12	2,25	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α_1	14375	
α_2	14174	
Módulo de Elas.	208833	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O1 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O2 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.

Altura del equipo		200	
Eg		128,65	
Er		129,78	
K		0,502186279	
PROBETA #26			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
KN	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	1	0,0	0,00000
25152	32	14,1	0,00008
50220	69	28,1	0,00017
75202	109	42,1	0,00027
100138	151	56,0	0,00038
125400	193	70,1	0,00048
150380	240	84,1	0,00060
175122	284	98,0	0,00071
200258	329	112,0	0,00083
225000	377	125,9	0,00095
250578	428	140,2	0,00107
275421	479	154,1	0,00120
300078	532	167,9	0,00134
310032	555	173,4	0,00139
320946	579	179,5	0,00145
325082	589	181,9	0,00148
330155	601	184,7	0,00151
335064	613	187,4	0,00154
340207	626	190,3	0,00157
345279	638	193,2	0,00160
350369	650	196,0	0,00163
355270	664	198,7	0,00167
360764	679	201,8	0,00170
365969	694	204,7	0,00174
370016	704	207,0	0,00177
375668	721	210,2	0,00181
380120	737	212,6	0,00185
380516	740	212,9	0,00186
382043	745	213,7	0,00187
382689	746,25	214,1	0,00187

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O2 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.

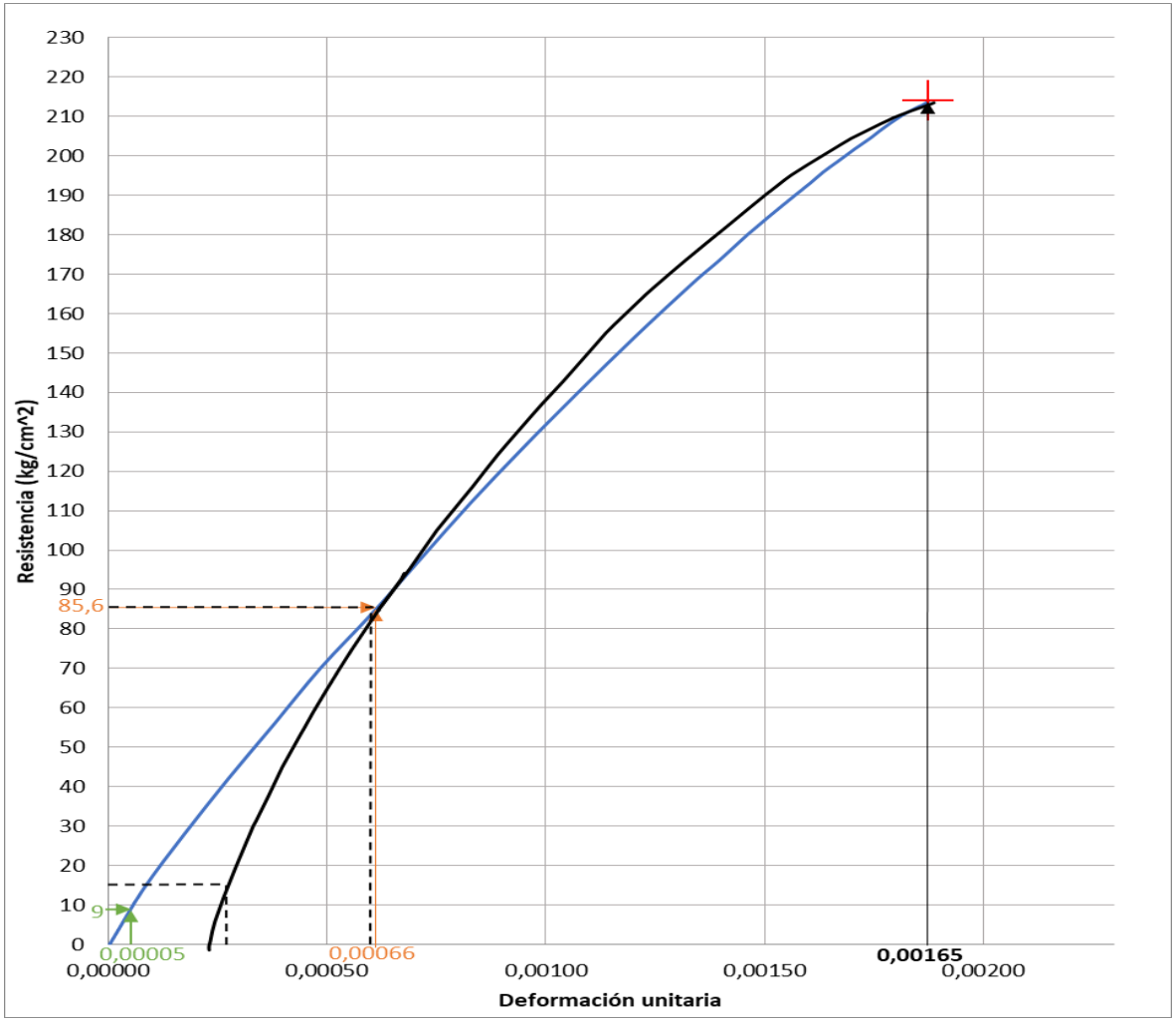
PROBETA #26		
T máx.	214,08	kg/cm^2
40% T máx.	85,63	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00066	mm/mm
T 0,00005	9	kg/cm^2
Módulo de Elas.	12320	Mpa

CORRECCIÓN		
T 0,00005	15	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00038	mm/mm
ε T máx.	0,00165	mm/mm
δ Probeta 26	2,30	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α1	14906	
α2	14628	
Módulo de Elas.	214035	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O2 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O2 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.

Altura del equipo		200	
Eg		129,78	
Er		123,98	
K		0,488571879	
PROBETA #27			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
KN	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	0	0,0	0,00000
25284	26	14,3	0,00006
50526	58	28,5	0,00014
75147	92	42,5	0,00022
100362	126	56,7	0,00031
125059	161	70,7	0,00039
150273	197	84,9	0,00048
175592	237	99,2	0,00058
200172	276	113,1	0,00067
225235	318	127,3	0,00078
250926	360	141,8	0,00088
275584	404	155,7	0,00099
300084	447	169,5	0,00109
325335	495	183,8	0,00121
350487	547	198,0	0,00134
360405	569	203,6	0,00139
370221	592	209,2	0,00144
375536	602	212,2	0,00147
381174	616	215,4	0,00151
385538	627	217,8	0,00153
391208	642	221,0	0,00157
395350	653	223,4	0,00160
401595	670	226,9	0,00164
412230	696	232,9	0,00170
415131	711	234,5	0,00174
420786	731	237,7	0,00179
425028	752	240,1	0,00184
426774	757	241,1	0,00185
427828	764	241,7	0,00187
428013	767,65	241,8	0,00188
426523	776,1	240,98262	0,00190
425286	776,75	240,28372	0,00190
409600	764,4	231,42124	0,001867322

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O2 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.

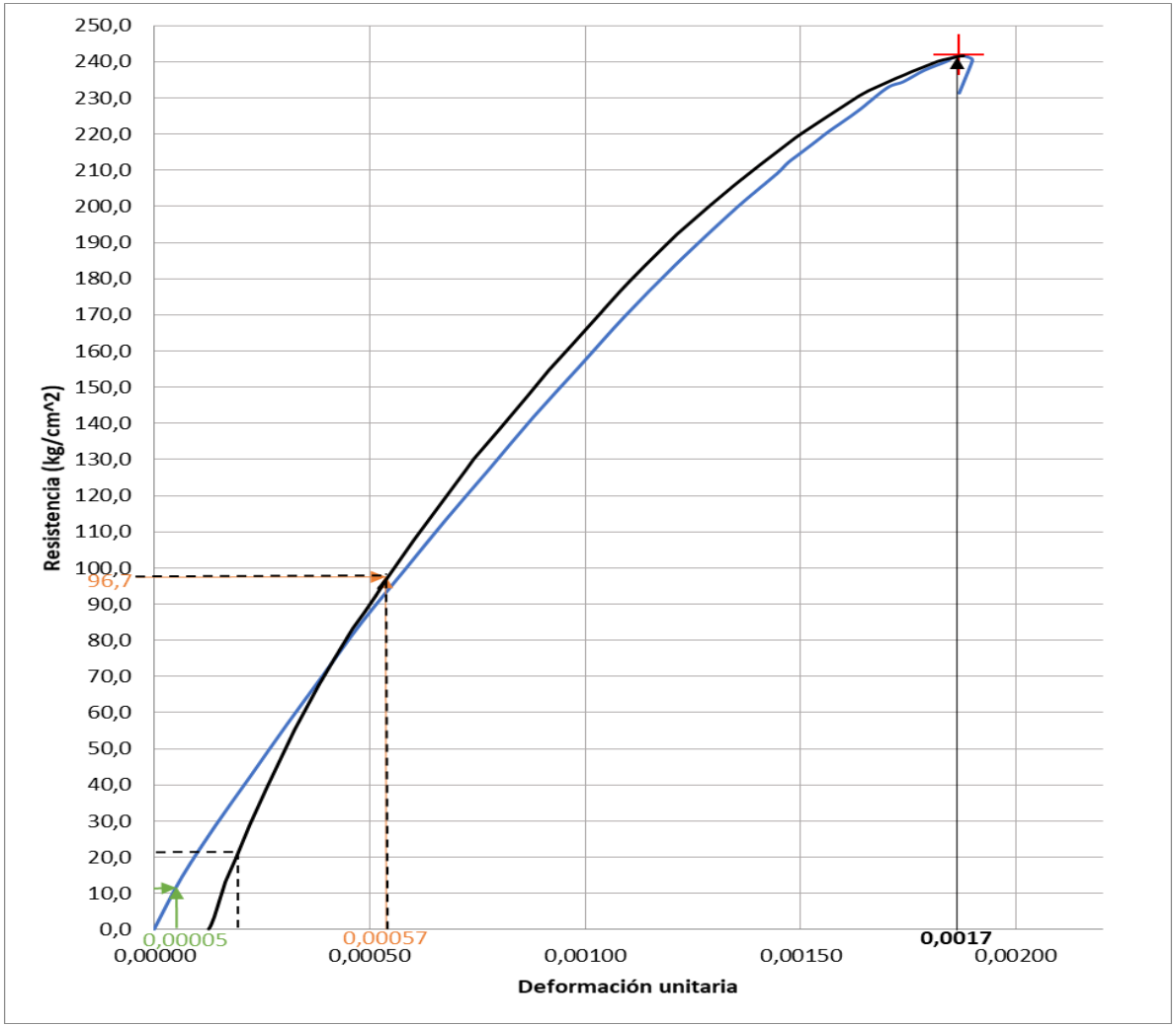
PROBETA #27		
T máx.	241,82	kg/cm^2
40% T máx.	96,73	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00057	mm/mm
T 0,00005	11	kg/cm^2
Módulo de Elas.	16168	Mpa

CORRECCIÓN		
T 0,00005	21	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,000395	mm/mm
ε T máx.	0,0017	mm/mm
δ Probeta 27	2,22	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α1	14168	
α2	14116	
Módulo de Elas.	219507	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O2 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y ADITEC FA - 111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O3 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

Altura del equipo		203	
Eg		128,17	
Er		127,35	
K		0,498395429	
PROBETA #43			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
N	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	0	0,0	0,00000
25397	28	14,3	0,00007
50088	62	28,2	0,00015
75947	101	42,7	0,00025
100622	138	56,6	0,00034
125543	178	70,6	0,00044
150838	219	84,8	0,00054
175677	260	98,8	0,00064
200176	305	112,5	0,00075
225896	350	127,0	0,00086
250569	399	140,9	0,00098
275086	447	154,6	0,00110
300379	502	168,9	0,00123
325537	557	183,0	0,00137
350160	618	196,8	0,00152
375329	686	211,0	0,00168
380545	702	213,9	0,00172
385240	715	216,6	0,00176
390252	730	219,4	0,00179
395862	748	222,5	0,00184
400995	763	225,4	0,00187
406062	780	228,3	0,00192
410838	797	230,9	0,00196
415970	816	233,8	0,00200
420087	834	236,1	0,00205
421857	838	237,1	0,00206
422530	842	237,5	0,00207
423715	846	238,2	0,00208
421209	847	236,8	0,00208

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O3 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

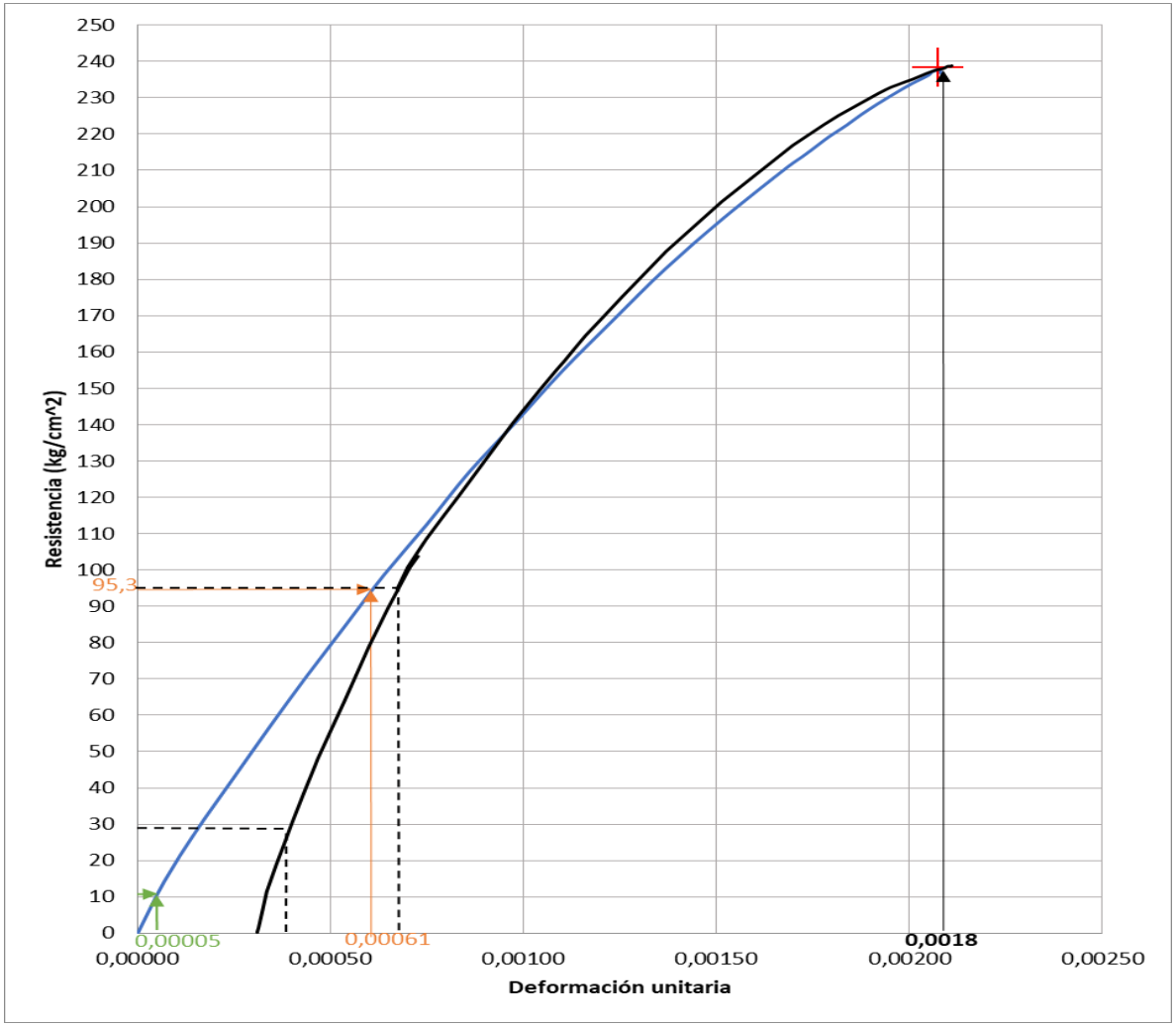
PROBETA #43		
T máx.	238,2	kg/cm^2
40% T máx.	95,3	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00061	mm/mm
T 0,00005	10	kg/cm^2
Módulo de Elas.	14933	Mpa

CORRECCIÓN		
T 0,00005	29	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00035	mm/mm
ε T máx.	0,0018	mm/mm
δ Probeta 43	2,26	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α1	14542	
α2	14314	
Módulo de Elas.	220913	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O3 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O3 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

Altura del equipo		200	
Eg		129,2	
Er		126,9	
K		0,495509567	
PROBETA #44			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
KN	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	0	0,0	0,00000
25111	31	14,1	0,00008
50091	65	28,1	0,00016
75640	103	42,5	0,00025
100098	142	56,2	0,00035
125021	185	70,2	0,00046
150122	230	84,3	0,00057
175223	279	98,4	0,00069
200555	327	112,7	0,00081
225084	377	126,4	0,00093
250264	428	140,6	0,00106
275010	484	154,5	0,00120
300061	544	168,6	0,00135
325300	608	182,7	0,00151
335850	634	188,7	0,00157
345096	655	193,9	0,00162
350218	677	196,7	0,00168
355885	693	199,9	0,00172
360289	710	202,4	0,00176
365672	726	205,4	0,00180
370847	744	208,3	0,00184
375100	760	210,7	0,00188
380836	782	213,9	0,00194
383279	797	215,3	0,00198
383075	795	215,2	0,00197

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O3 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.

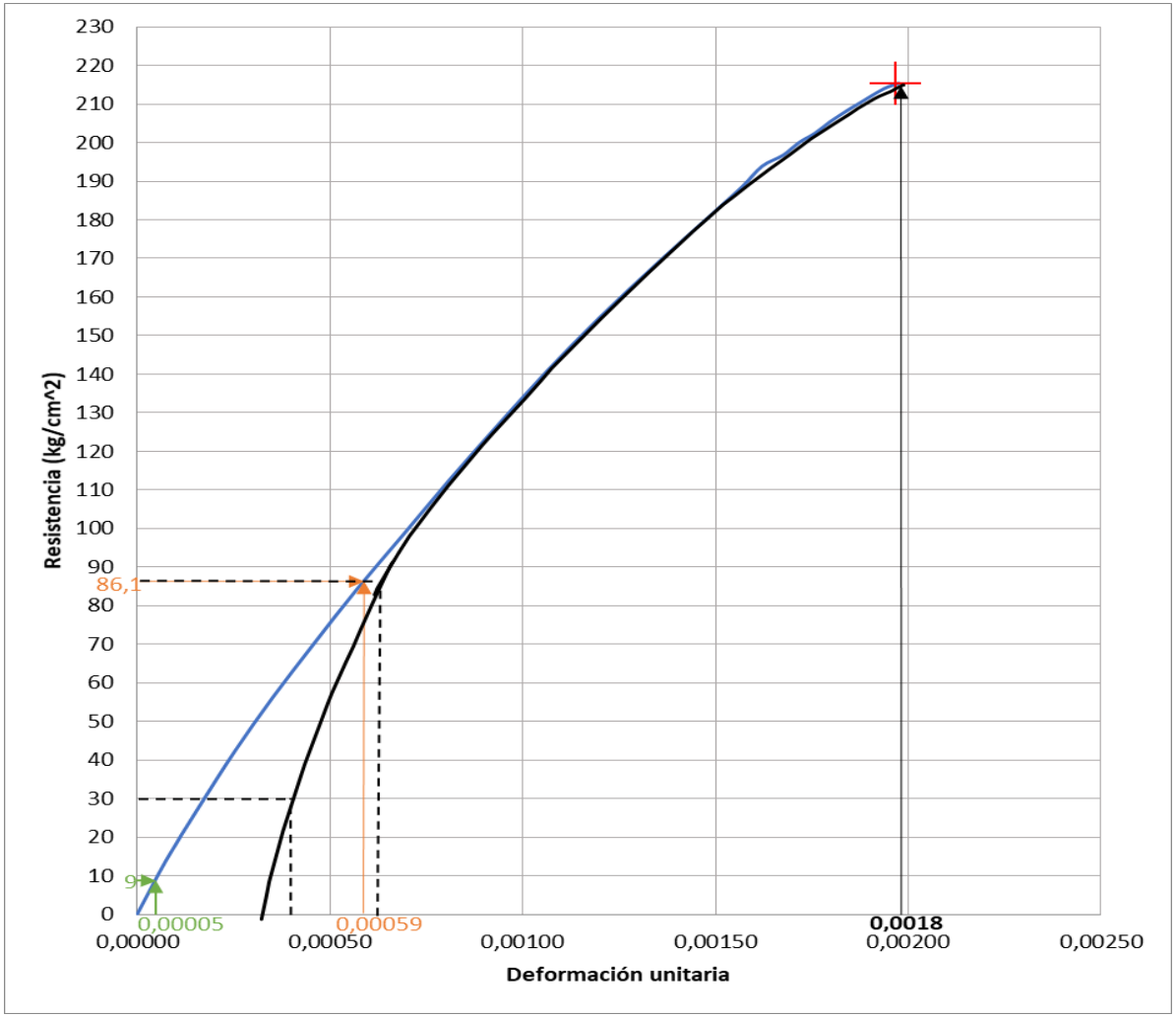
PROBETA #44		
T máx.	215,3	kg/cm^2
40% T máx.	86,12	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00059	mm/mm
$T_{0,00005}$	9	kg/cm^2
Módulo de Elas.	14006	Mpa

CORRECCIÓN		
$T_{0,00005}$	30	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00031	mm/mm
ε T máx.	0,0018	mm/mm
δ Probeta 44	2,30	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α_1	14893	
α_2	14711	
Módulo de Elas.	215865	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O3 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.4276 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O4 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844.

Altura del equipo		200	
Eg		120,31	
Er		131,1	
K		0,478541029	
PROBETA #56			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
KN	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	0	0,0	0,00000
25120	26	14,1	0,00005
50439	59	28,4	0,00011
75857	97	42,7	0,00019
100165	132	56,4	0,00025
125255	173	70,5	0,00033
150836	214	84,9	0,00041
175802	258	98,9	0,00049
200013	301	112,6	0,00058
225411	350	126,9	0,00067
250708	399	141,1	0,00076
275577	448	155,1	0,00086
300250	499	169,0	0,00096
325358	554	183,1	0,00106
350536	615	197,3	0,00118
360570	640	202,9	0,00123
370479	666	208,5	0,00127
375723	679	211,5	0,00130
380269	693	214,0	0,00133
385778	706	217,1	0,00135
390393	719	219,7	0,00138
395643	734	222,7	0,00140
400939	750	225,7	0,00144
405380	763	228,2	0,00146
410783	777	231,2	0,00149
415570	791	233,9	0,00151
420369	809	236,6	0,00155
425021	825	239,2	0,00158
430608	847	242,4	0,00162
435059	863	244,9	0,00165
440217	887	247,8	0,00170
445184	913	250,6	0,00175
450586	946	253,6	0,00181
454028	990	255,5	0,00190
454410	1006	255,8	0,00193
454351	1017	255,7	0,00195

453965	1013	255,5	0,00194

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O4 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844.

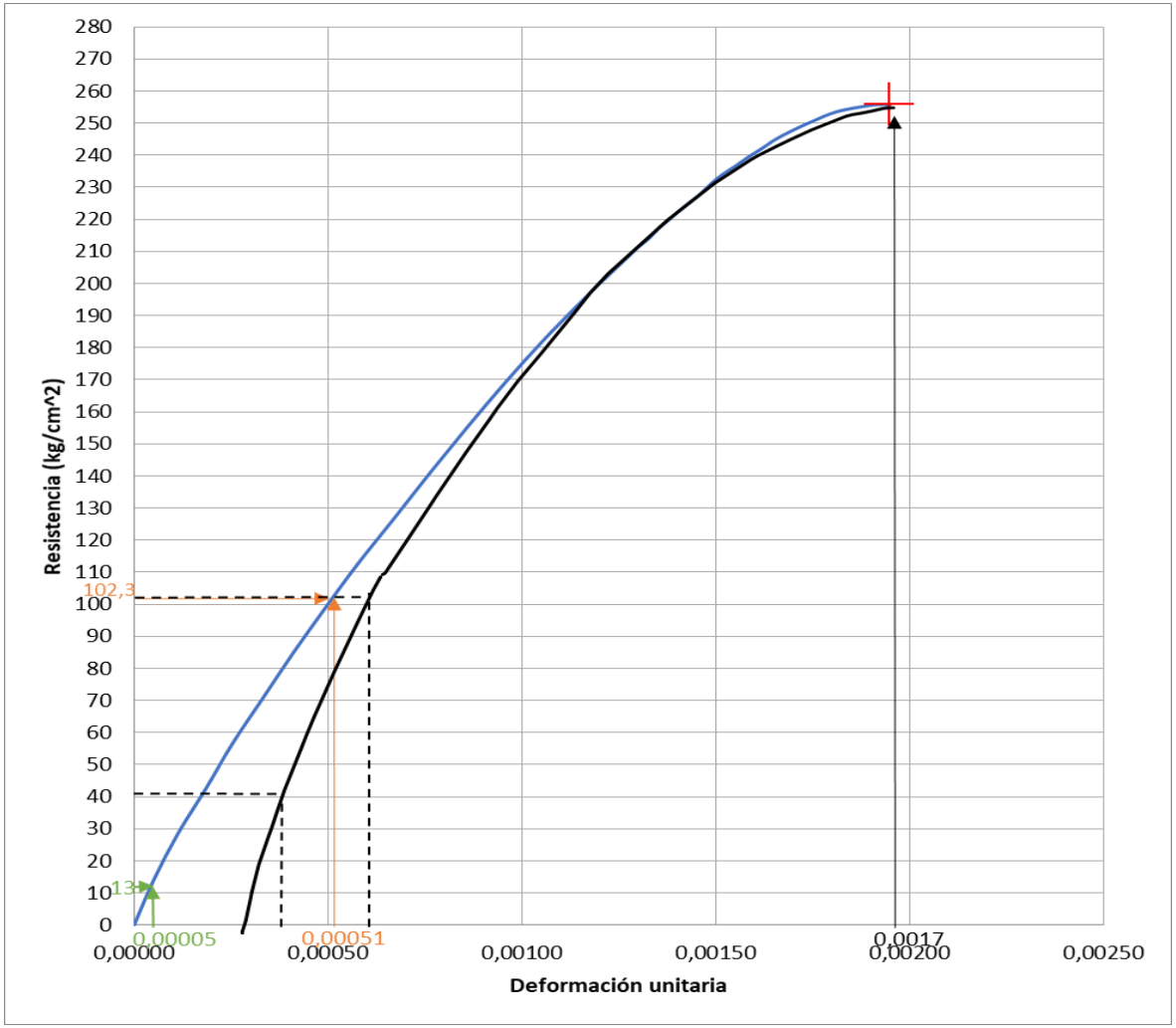
PROBETA #56		
T máx.	255,7	kg/cm^2
40% T máx.	102,29	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00051	mm/mm
$T_{0,00005}$	13	kg/cm^2
Módulo de Elas.	19036	Mpa

CORRECCIÓN		
$T_{0,00005}$	41	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00032	mm/mm
ε T máx.	0,0017	mm/mm
δ Probeta 56	2,23	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α_1	14203	
α_2	14195	
Módulo de Elas.	227001	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O4 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O4 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844.

Altura del equipo		200	
Eg		120,87	
Er		128,55	
K		0,484604282	
PROBETA #57			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
KN	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	0	0,0	0,00000
25141	27	14,0	0,00005
50036	61	27,8	0,00012
75850	99	42,2	0,00019
100445	138	55,8	0,00027
125944	178	70,0	0,00034
150974	220	83,9	0,00043
175764	261	97,7	0,00051
200037	302	111,2	0,00058
224676	354	124,9	0,00069
250114	396	139,0	0,00077
275166	445	152,9	0,00086
300808	496	167,2	0,00096
310473	522	172,5	0,00101
320866	545	178,3	0,00106
325768	555	181,0	0,00108
330636	564	183,7	0,00109
335548	580	186,5	0,00112
341152	592	189,6	0,00115
345868	602	192,2	0,00117
350896	615	195,0	0,00119
356475	628	198,1	0,00122
360446	639	200,3	0,00124
366828	655	203,9	0,00127
370803	667	206,1	0,00129
375544	680	208,7	0,00132
380076	692	211,2	0,00134
385075	698	214,0	0,00135
390487	718	217,0	0,00139
395047	734	219,5	0,00142
400686	752	222,7	0,00146
405827	769	225,5	0,00149
410689	786	228,2	0,00152
415251	801	230,8	0,00155
420696	818	233,8	0,00159
425626	837	236,5	0,00162

430686	862	239,3	0,00167
435573	883	242,1	0,00171
440038	906	244,5	0,00176
445362	940	247,5	0,00182
450086	991	250,1	0,00192
449447	963	249,8	0,00187

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O4 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844.

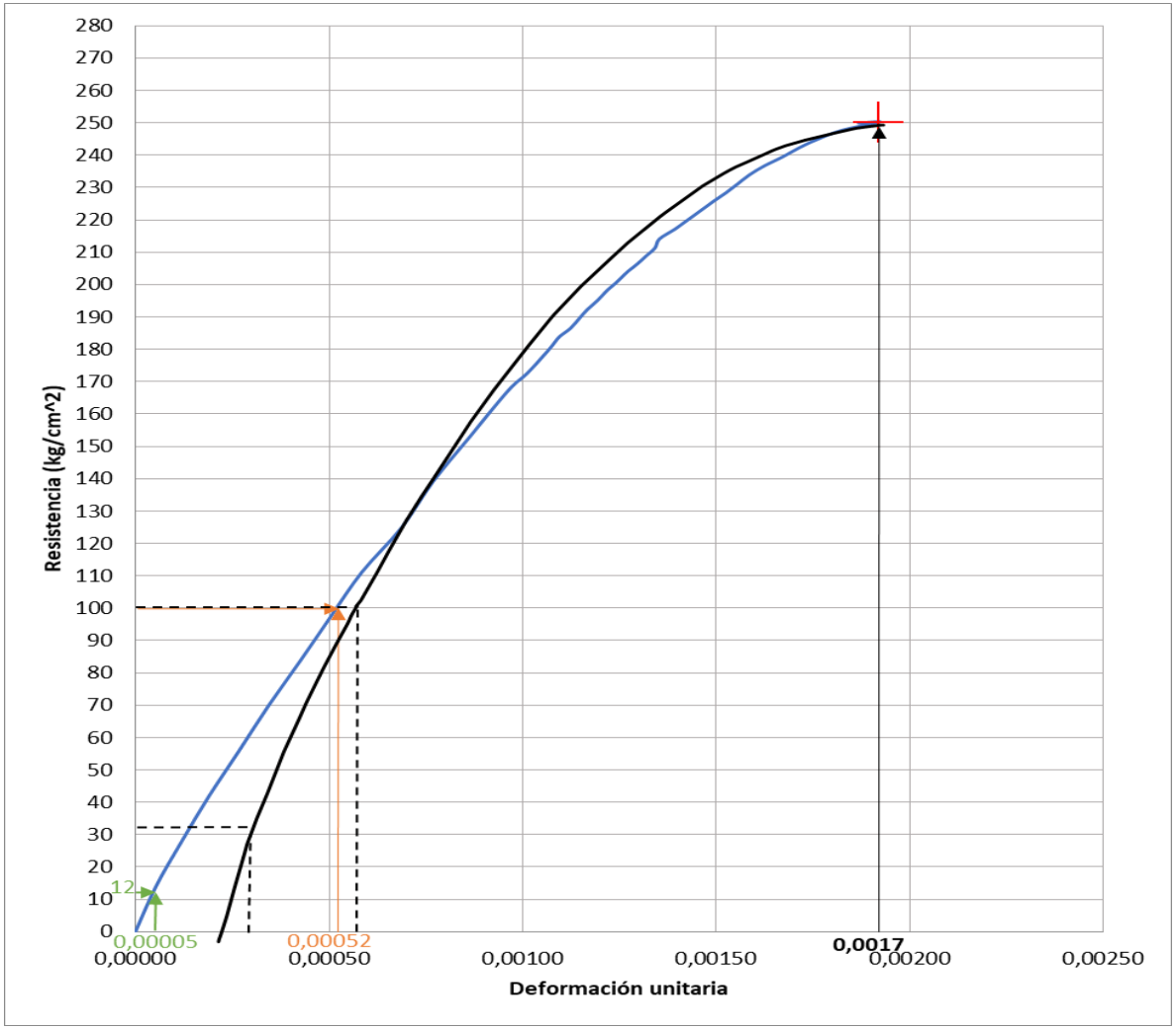
PROBETA #57		
T máx.	250,12	kg/cm^2
40% T máx.	100,05	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00052	mm/mm
$T_{0,00005}$	12	kg/cm^2
Módulo de Elas.	18372	Mpa

CORRECCIÓN		
$T_{0,00005}$	32	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00035	mm/mm
ε T máx.	0,0017	mm/mm
δ Probeta 57	2,26	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α_1	14537	
α_2	14342	
Módulo de Elas.	226826	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O4 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O5 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA - 111.

Altura del equipo		200	
Eg		125,36	
Er		124,84	
K		0,498960831	
PROBETA #73			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
KN	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	0	0,0	0,00000
25356	20	14,3	0,00005
50125	46	28,2	0,00012
75004	76	42,2	0,00019
100685	108	56,7	0,00027
125054	140	70,4	0,00035
150342	174	84,7	0,00043
175620	207	98,9	0,00052
200395	242	112,8	0,00060
225343	277	126,9	0,00069
251068	316	141,4	0,00079
276097	353	155,5	0,00088
300647	393	169,3	0,00098
325038	433	183,0	0,00108
350972	475	197,6	0,00118
375099	517	211,2	0,00129
400173	564	225,3	0,00141
411267	585	231,6	0,00146
415628	598	234,0	0,00149
420067	606	236,5	0,00151
426787	617	240,3	0,00154
430933	627	242,6	0,00156
435875	638	245,4	0,00159
440044	649	247,8	0,00162
445399	659	250,8	0,00164
450490	669	253,7	0,00167
456011	684	256,8	0,00171
460261	696	259,2	0,00174
465405	706	262,1	0,00176
470340	719	264,8	0,00179
475858	730	267,9	0,00182
480304	735	270,4	0,00183
486239	749	273,8	0,00187
490214	767	276,0	0,00191
495829	781	279,2	0,00195
500430	795	281,8	0,00198

506939	814	285,4	0,00203
510106	825	287,2	0,00206
515513	843	290,3	0,00210
520080	865	292,8	0,00216
525198	886	295,7	0,00221
530879	929	298,9	0,00232
531206	949	299,10	0,00237
530870	969	298,9	0,00242
529678	988	298,24	0,00246
526919	1026	296,7	0,00256

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O5 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA - 111.

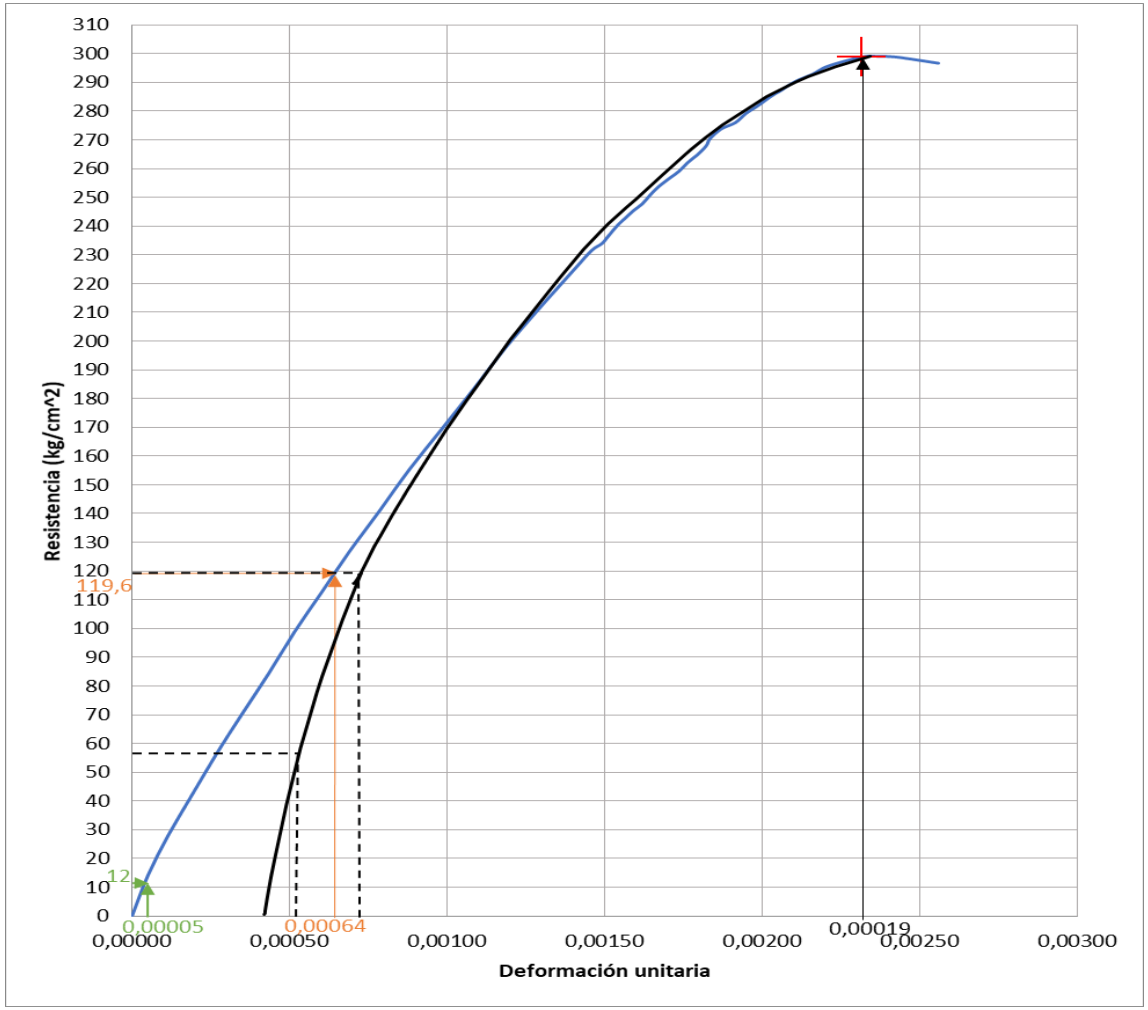
PROBETA #73		
T máx.	299,10	kg/cm^2
40% T máx.	119,64	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00064	mm/mm
$T_{0,00005}$	12	kg/cm^2
Módulo de Elas.	17892	Mpa

CORRECCIÓN		
$T_{0,00005}$	57	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,0003	mm/mm
ε T máx.	0,0019	mm/mm
δ Probeta 73	2,27	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α_1	14568	
α_2	14488	
Módulo de Elas.	250561	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O5 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA -111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O5 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA - 111.

Altura del equipo		200	
Eg		125,09	
Er		124,94	
K		0,499700036	
PROBETA #74			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
KN	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	0	0,0	0,00000
25082	29	13,8	0,00007
50157	56	27,6	0,00014
75678	99	41,7	0,00025
100097	137	55,1	0,00034
125822	175	69,3	0,00044
150833	216	83,1	0,00054
175854	256	96,8	0,00064
201220	298	110,8	0,00074
225614	338	124,2	0,00084
250950	379	138,2	0,00095
275795	422	151,9	0,00106
300129	466	165,3	0,00117
355460	578	195,7	0,00144
374391	622	206,1	0,00155
400431	681	220,5	0,00170
410569	706	226,1	0,00176
420673	734	231,6	0,00183
430627	762	237,1	0,00190
435400	778	239,7	0,00194
440278	795	242,4	0,00199
450603	842	248,1	0,00210
452574	878	249,2	0,00219
452366	877	249,1	0,00219
451845	885	248,8	0,00221
450268	892	247,9	0,00223
449316	896	247,4	0,00224

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O5 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA - 111.

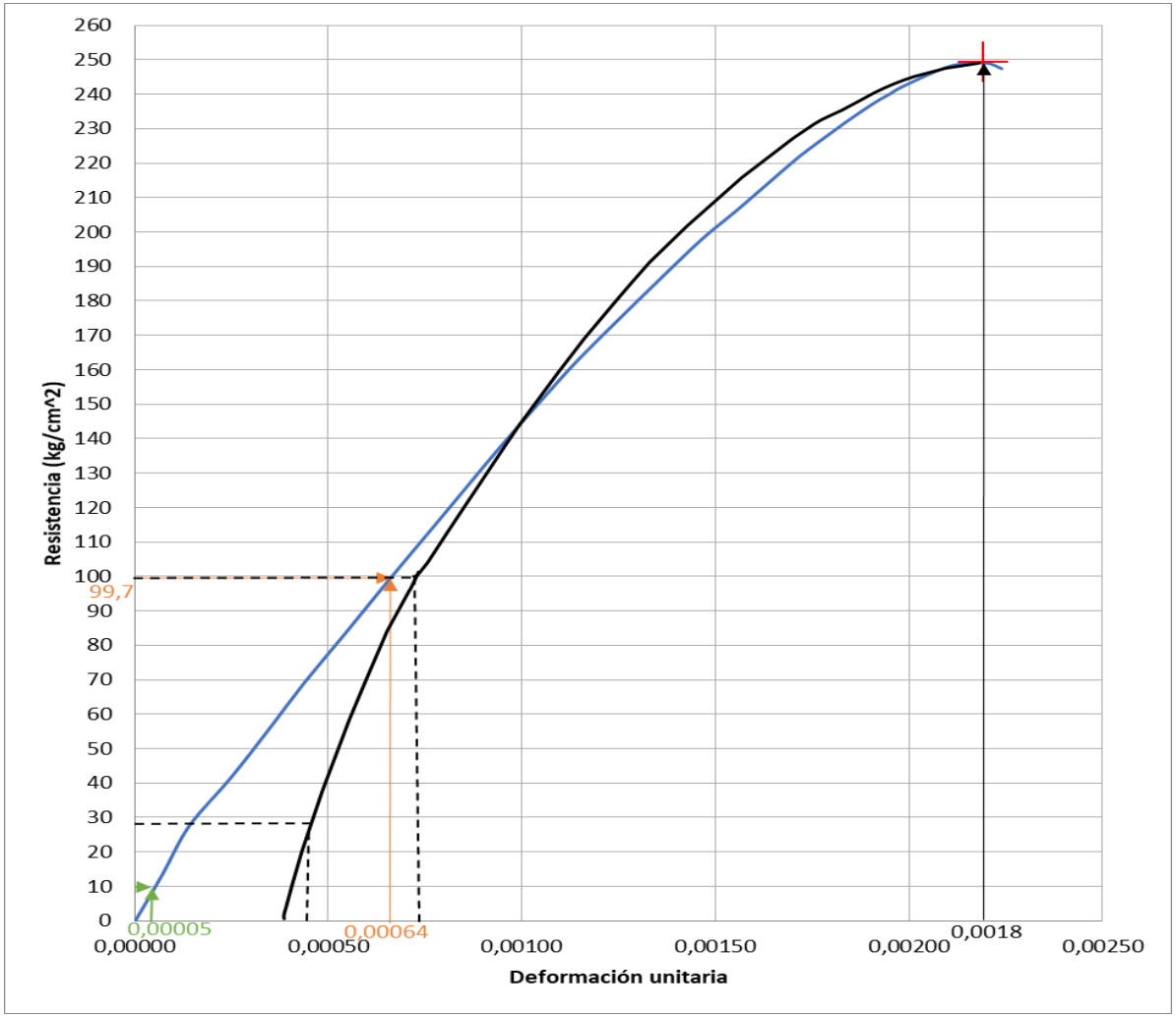
PROBETA #74		
T máx.	249,20	kg/cm^2
40% T máx.	99,68	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00064	mm/mm
T 0,00005	10	kg/cm^2
Módulo de Elas.	14906	Mpa

CORRECCIÓN		
T 0,00005	29	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00036	mm/mm
ε T máx.	0,0018	mm/mm
δ Probeta 74	2,27	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α1	14560	
α2	14443	
Módulo de Elas.	227997	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O5 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y ADITEC FA -111.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O6 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

Altura del equipo		200	
Eg		129,11	
Er		126,41	
K		0,494716656	
PROBETA #11			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
KN	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	0	0,0	0,00000
25347	26	14,4	0,00006
50732	59	28,8	0,00015
75606	95	43,0	0,00023
100706	130	57,2	0,00032
125457	167	71,3	0,00041
150234	207	85,3	0,00051
176054	249	100,0	0,00061
200599	288	114,0	0,00071
226413	330	128,6	0,00082
250768	370	142,5	0,00091
275852	413	156,7	0,00102
300700	460	170,8	0,00114
325633	509	185,0	0,00126
350824	561	199,3	0,00139
375475	610	213,3	0,00151
400325	683	227,4	0,00169
410277	708	233,1	0,00175
420527	732	238,9	0,00181
425933	748	242,0	0,00185
430020	760	244,3	0,00188
436787	778	248,1	0,00193
440182	790	250,1	0,00195
445798	809	253,3	0,00200
450377	820	255,9	0,00203
456642	892	259,4	0,00221
452664	893	257,2	0,00221

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O6 A1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

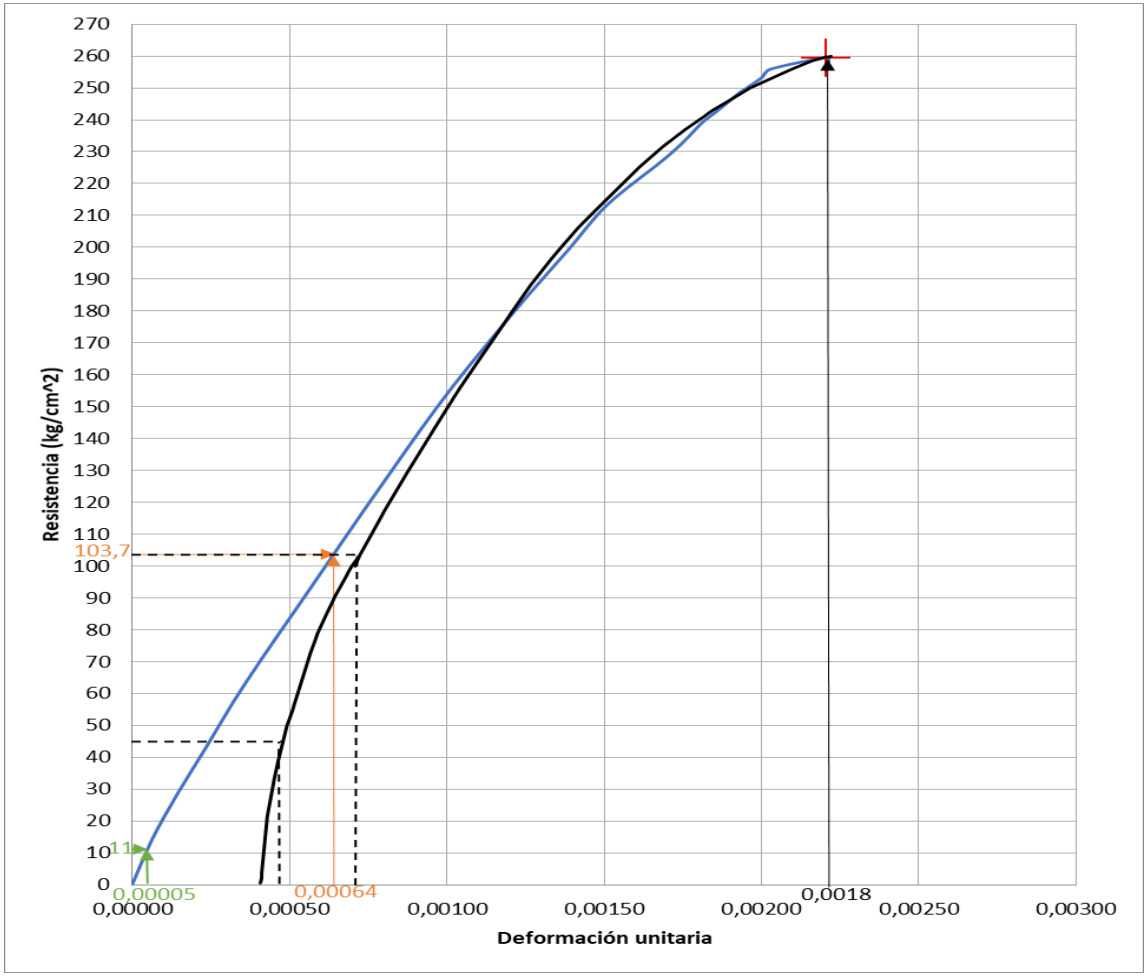
PROBETA #86		
T máx.	259,42	kg/cm^2
40% T máx.	103,77	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00064	mm/mm
T 0,00005	11	kg/cm^2
Módulo de Elas.	15420	Mpa

CORRECCIÓN		
T 0,00005	45	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,0003	mm/mm
ε T máx.	0,0018	mm/mm
δ Probeta 86	2,29	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α1	14801	
α2	14595	
Módulo de Elas.	235069	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O6 A. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O6 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

Altura del equipo		200	
Eg		124,81	
Er		129,74	
K		0,509683756	
PROBETA #11			
Carga	Deformación	Esfuerzo	Def. Unitaria
KN	0,001 mm	kg/cm^2	mm/mm
0	4	0,0	0,00001
24045	33	13,4	0,00008
50478	69	28,1	0,00018
75307	105	42,0	0,00027
100023	142	55,7	0,00036
125146	182	69,8	0,00046
150364	222	83,8	0,00056
175550	266	97,8	0,00068
200576	311	111,8	0,00079
225488	358	125,7	0,00091
250338	406	139,5	0,00104
275563	456	153,6	0,00116
300579	512	167,5	0,00130
325822	571	181,6	0,00146
350624	633	195,4	0,00161
375218	704	209,1	0,00179
400583	794	223,3	0,00202
410770	836	228,9	0,00213
415389	861	231,5	0,00219
420534	887	234,4	0,00226
407682	886	227,2	0,00226

Fuente: (Barahona, 2020).

Tabla O6 B1. Corrección cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.

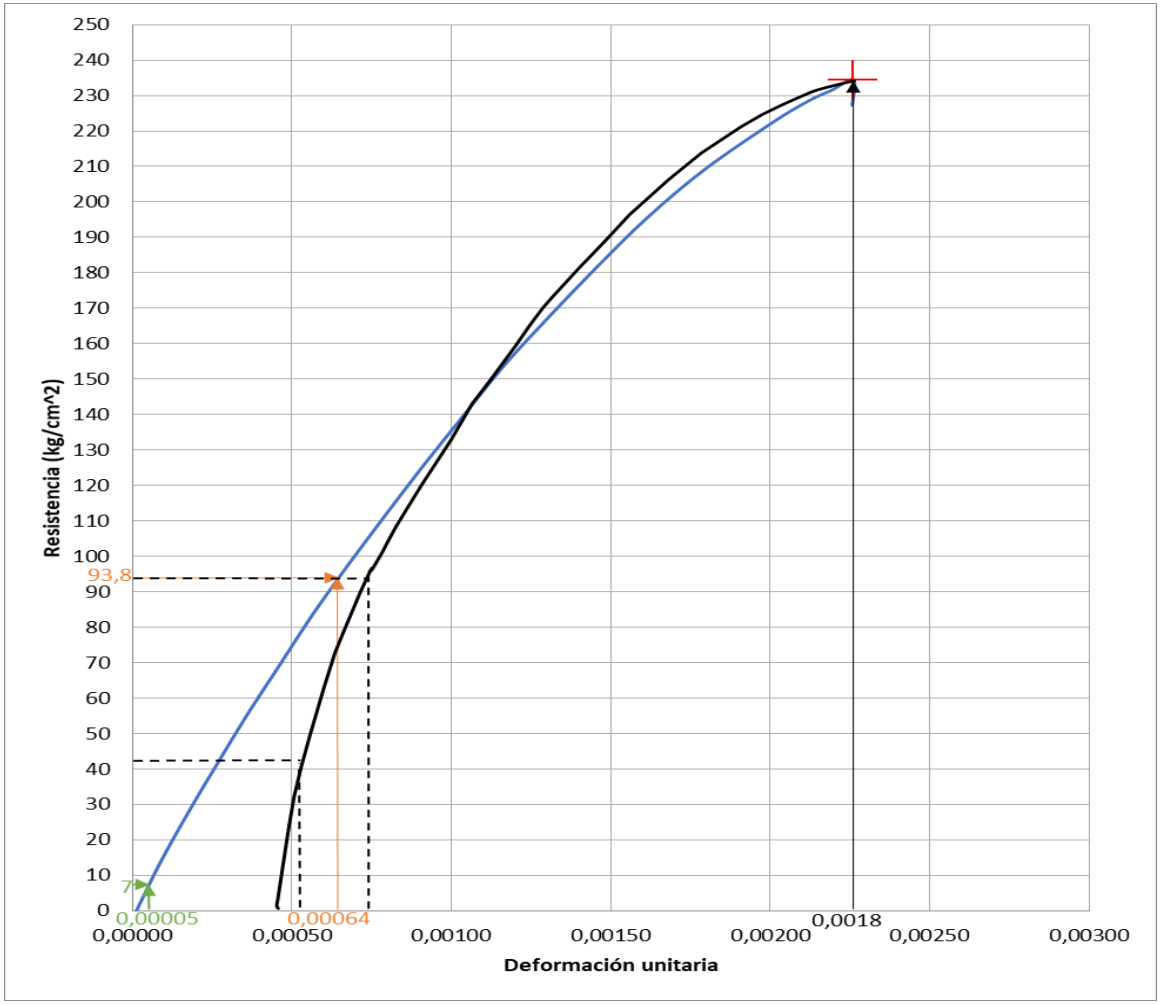
PROBETA #57		
T máx.	234,4	kg/cm^2
40% T máx.	93,75	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00064	mm/mm
$T_{0,00005}$	7	kg/cm^2
Módulo de Elas.	14420,11389	Mpa

CORRECCIÓN		
$T_{0,00005}$	42	kg/cm^2
ε 40%T máx.	0,00028	mm/mm
ε T máx.	0,0018	mm/mm
δ Probeta 86	2,33	T/m^3

COMPROBACIÓN		
α_1	15215	
α_2	14698	
Módulo de Elas.	225021	kg/cm^2

Fuente: (Barahona, 2020).

Gráfica O6 B. Cilindro ensayado a los 28 días relación a/c 0.3844 y SIKA 3.



Fuente: (Barahona, 2020).