

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA CIVIL

"ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)"

CASO DE APLICACIÓN FABRICACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES

AUTORES:

JORGE LUIS ALBÁN

ISRAEL UTRERAS

DIRECTOR:

ING. LAURO LARA

DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

QUITO, 2020

DEDICATORIA

A mis padres José Albán y Salvina Calle, que son los motores en mi vida, me apoyan y siempre me están brindando su apoyo en este camino y sobre todo son mi ejemplo de perseverancia, sabiduría, honestidad y amor.

A mi hermana Doris Albán quien es un apoyo en mi vida, la persona con quien eh pasado momentos divertidos y su amor incondicional.

En fin, a todas las personas que de alguna manera me han apoyado en este arduo camino de esfuerzo y dedicación.

Jorge Luis A.

A mi madre, Mariana, por todo el sacrificio realizado para que yo pueda llegar hasta aquí, y su valor para sacar fuerzas y siempre seguir adelante en este camino llamado "vida".

A mi padre Gracián, por brindarme todo su apoyo, colaboración y ayuda necesaria a lo largo de mi formación académica.

A mis hermanos, Tabi y Leandro, por los grandes momentos de alegría que compartimos juntos, y siempre estar pendientes de cada paso que doy en mi vida.

A mis sobrinos, Mateo y Valentina, gracias por siempre sacarme una sonrisa con todas sus locuras, los quiero mucho.

Israel Utreras E.

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme y ayudarme a tomar las mejores decisiones.

Agradezco mi director de tesis, Ing. Lauro Lara por su guía profesional y sus consejos.

A mis correctores, Ing. Abraham Romero y Ing. Estuardo Páez por su ayuda y colaboración para la culminación de esta meta en mi vida.

A mi compañero de tesis y amigo Israel Utreras, con quien trabajé conjuntamente este proyecto de disertación.

Jorge Luis A.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por abrirme sus puertas para que yo pueda desarrollarme como profesional.

A mi director, el Ing. Lauro Lara, por todas sus enseñanzas a lo largo de esta carrera, su tiempo, dedicación y paciencia en la elaboración de este proyecto.

A mis correctores, el Ing. Estuardo Páez y el Ing. Abraham Romero, por su colaboración y ayuda para que la finalización de esta investigación sea posible.

A mi gran amigo, Jorge Luis Albán, por acompañarme siempre a lo largo de toda la carrera y ayudarme en la realización de este tema.

A todos los amigos que conocí en mi carrera universitaria.

Israel Utreras E.

Índice

1 CAPITULO I: GENERALIDADES 1

1.1. Introducción 1

1.2. Objetivo y Alcance 3

1.2.1 Objetivo General 3

1.2.2 Objetivos Específicos 3

1.2.3 Alcance 4

1.3. Antecedentes 4

1.4. Metodología 6

2 CAPITULO II: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MATERIALES 8

2.1. Hormigón 8

2.1.1 Propiedades Hormigón Fresco 8

2.1.2 Propiedades Hormigón Endurecido 9

2.1.3 Hormigón Liviano 11

2.1.4 Densidad 12

2.1.5 Resistencia 12

2.1.6 Clasificación 13

2.1.7 Características, propiedades físicas y químicas 15

2.1.8 Composición 18

2.1.9 Ventajas y desventajas del hormigón ligero 18

2.1.10 Aplicaciones 20

2.2. Áridos (Agregados) 21

2.2.1 Propiedades de Los Agregados 22

2.2.2 Caracterización de los Materiales: Descripción 22

2.2.3 Granulometría 23

2.2.4 Granulometría Agregado Grueso 24

2.2.5 Granulometría Agregado Fino 27

2.2.6 Gravedad Específica 30
2.2.7 Absorción de los Agregados 39
2.2.8 Peso Unitario de los Agregados 40
2.2.9 Contenido Orgánico 45
2.2.10 Terrones de Arcilla en los Agregados Naturales 47
2.2.11 Desgaste del Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles 51
2.2.12 Equivalente de Arena 56
2.2.13 Durabilidad de los Agregados a la Acción del Sulfato de Sodio o Magnesio 60
2.3. Arcilla Expandida 63
2.3.1 Características 63
2.3.2 Origen 64
2.3.3 Fabricación 65
2.3.4 Resistencia Química 66
2.3.5 Aplicaciones 66
2.3.6 Localización en Ecuador 67
2.3.7 Ensayo de Granulometría 68
2.3.8 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción 69
2.4. Agregado Fino 70
2.4.1 Caracterización de los Materiales: Ensayos 70
2.4.2 Ensayo de Granulometría 70
2.4.3 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción 71
2.4.4 Ensayo de Peso Unitario de los Agregados 72
2.4.5 Ensayo de Contenido Orgánico de la Arena 73
2.4.6 Ensayo Material Fino que Pasa el Tamiz N° 200 73
2.4.7 Ensayo de Terrones de Arcilla en el Agregado Fino 74
2.4.8 Ensayo de Equivalente De Arena 75
2.4.9 Ensayo de Durabilidad de los Agregados a la acción del Sulfato de Sodio 76
2.5. Agregado Grueso 77

2.5.1 Caracterización de los Materiales: Ensayos 77
2.5.2 Ensayo de Granulometría 77
2.5.3 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso 78
2.5.4 Ensayo de Peso Unitario del Agregado Grueso 79
2.5.5 Ensayo de Terrones de Arcilla del Agregado Grueso 80
2.5.6 Ensayo de Desgaste del Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles 81
2.5.7 Ensayo de Durabilidad del Agregados a la Acción del Sulfato de Sodio 82
2.6. Cementantes 83
2.6.1 Cemento Portland 83
2.6.2 Tipos de cementos portland 83
2.6.3 Cementos que se Usan en Nuestro País 84
2.6.4 Cementos Hidráulicos 85
2.6.5 Propiedades del Cemento 86
3 CAPITULO III: DISEÑO Y ENSAYO DE HORMIGÓN ALIVIANADO 88
3.1. Dosificación para la Muestra Original 88
3.1.1 Dosificación para una A/C = 0.53 88
3.1.2 Dosificación para una A/C = 0.494 90
3.1.3 Dosificación para una A/C = 0.445 91
3.1.4 Hormigón Liviano Estructural 92
3.1.5 Propiedades en Ingeniería de Hormigones Livianos 93
3.2. Dosificación para Muestra de Prueba con Arcilla 93
3.3. Preparación del hormigón de prueba 100
3.3.1 Consistencia 100
3.3.2 Ensayo de Resistencia a Compresión 103
3.3.3 Resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión en Cilindros 104
3.4. Corrección por Humedad 120
3.5. Módulo de Elasticidad 121
3.5.1 Importancia 123

3.5.2 Equipo 123
3.5.3 Procedimiento 124
3.5.4 Cálculo del Módulo de Elasticidad 124
3.6. Ensayo a Flexión de Viguetas 137
3.6.1 Resultados del ensayo de flexión en viguetas 138
4 CAPITULO IV: APLICACIÓN EN PANELES PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES 148
4.1. Histórica de los Paneles Prefabricados 148
4.2. Definición 149
4.3. Descripción 149
4.4. Tipos de Paneles Prefabricados 149
4.4.1 Paneles Portantes 150
4.4.2 Paneles no Portantes 150
4.5. Aspectos de la fabricación del panel liviano 151
4.5.1 Dimensiones 151
4.5.2 Encofrado 152
4.5.3 Acabados 153
4.5.4 Curado 153
4.5.5 Desencofrado 153
4.5.6 Costos 155
4.6. Ventajas y Desventajas de Usar Paneles Prefabricados 156
5 CAPITULO V: CONCLUSIONES - RECOMENDACIONES 158
5.1. Conclusiones 158
5.2. Recomendaciones 164
6 BIBLIOGRAFÍA 165
7 ANEXOS 168

Índice de Tablas

Tabla 1. Promedio de las Masas Volumétricas Observadas para el Concreto Fresco.....11

Tabla 2. Como Influyen los Ensayos de Laboratorio en el Hormigón.....22

Tabla 3. Orden de los Tamices para Ensayo de Granulometría.....24

Tabla 4. Tamaño de la Muestra para el Agregado Grueso.....24

Tabla 5. Porcentaje de Material que pasa por Cada Tamiz.....27

Tabla 6. Masa Mínima para la muestra de Agregado Grueso.....49

Tabla 7. Tamiz de Lavado.....51

Tabla 8. Gradaciones para las Muestras a Ensayar.....53

Tabla 9. Masa para el Ensayo de Abrasión.....53

Tabla 10. Propiedades del Hormigón Liviano con Arcilla Expandida.....63

Tabla 11. Ensayo de Granulometría de la Arcilla Expandida.....68

Tabla 12. Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de la Arcilla Expandida.....69

Tabla 13. Ensayo de Granulometría del Agregado Fino.....70

Tabla 14. Ensayo de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino.....71

Tabla 15. Ensayo de Peso Unitario del Agregado Fino.....72

Tabla 16. Ensayo de Contenido Orgánico de la Arena.....73

Tabla 17. Ensayo Material Fino que Pasa el Tamiz N° 200.....73

Tabla 18. Ensayo de Terrones de Arcilla en el Agregado Fino.....74

Tabla 19. Ensayo Equivalente de Arena.....75

Tabla 20. Durabilidad del Agregado Fino a la acción del Sulfato de Sodio.....76

Tabla 21. Ensayo de Granulometría del Agregado Grueso.....77

Tabla 22. Ensayo de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso.....78

Tabla 23. Ensayo de Peso Unitario del Agregado Grueso.....79

Tabla 24. Ensayo de Terrones de Arcilla del Agregado Grueso.....80

Tabla 25. Ensayo de Desgaste del Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles.....81

Tabla 26. Ensayo de Durabilidad del Agregado Grueso a la Acción del Sulfato de Sodio.....82

Tabla 27. Tipos de cementos según la norma ASTM 84
Tabla 28. Cementos hidráulicos según la norma ASTM.....86
Tabla 29. Gravedad específica del cemento (HOLCIM tipo GU) 86
Tabla 30. Finura Blaine (Cemento HOLCIM tipo GU) 87
Tabla 31. Tiempo de fraguado Vicat (Cemento HOLCIM tipo GU).....87
Tabla 32. Expansión en el Autoclave (Cemento HOLCIM tipo GU).....87
Tabla 33. Resumen de los ensayos realizados en el cemento. 87
Tabla 34. Dosificación para una A/C = 0.53.....88
Tabla 35. Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto.....89
Tabla 36. Dosificación para Reestimación de Muestra.....89
Tabla 37. Reestimación de Muestra.....89
Tabla 38. Dosificación Final 90
Tabla 39. Dosificación para una A/C = 0.494 90
Tabla 40. Dosificación para Reestimación de Muestra.....90
Tabla 41. Reestimación de Muestra.....91
Tabla 42. Dosificación Final 91
Tabla 43. Dosificación para una A/C = 0.445 91
Tabla 44. Dosificación para Reestimación de Muestra.....92
Tabla 45. Reestimación de Muestra.....92
Tabla 46. Dosificación Final 92
Tabla 47. Gravedad Específica, Absorción y Humedad de los Agregados con Arcilla 93
Tabla 48. Dosificación Usada para una A/C = 0.53.....94
Tabla 49. Dosificación Final con 10 % de Arcilla para una A/C = 0.53.....96
Tabla 50. Dosificación Final con 20 % de Arcilla para una A/C = 0.53.....97
Tabla 51. Dosificación Final con 30 % de Arcilla para una A/C = 0.53.....97
Tabla 52. Gravedad Específica, Absorción y Humedad de los Agregados con Arcilla 97
Tabla 53. Dosificación Final con 10 % de Arcilla para una A/C = 0.494.....98

Tabla 54. Dosificación Final con 20 % de Arcilla para una A/C = 0.494 98
Tabla 55. Dosificación Final con 30 % de Arcilla para una A/C = 0.494 98
Tabla 56. Gravedad Específica, Absorción y Humedad de los Agregados con Arcilla 98
Tabla 57. Dosificación Final con 10 % de Arcilla para una A/C = 0.445 99
Tabla 58. Dosificación Final con 20 % de Arcilla para una A/C = 0.445 99
Tabla 59. Dosificación Final con 30 % de Arcilla para una A/C = 0.445 99
Tabla 60. Resumen de Pesos Unitarios obtenidos en la Mezcla 100
Tabla 61. Consistencia según el Cono de Abrams 102
Tabla 62. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.53 Muestra Original 104
Tabla 63. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.53 Muestra Original 104
Tabla 64. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.53 con 10% Arcilla 105
Tabla 65. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.53 con 10% Arcilla 105
Tabla 66. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.53 con 20% Arcilla 106
Tabla 67. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.53 con 20% Arcilla 106
Tabla 68. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.53 con 30% Arcilla 107
Tabla 69. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.53 con 30% Arcilla 107
Tabla 70. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.494 Muestra Original 108
Tabla 71. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.494 Muestra Original 108

Tabla 72. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.494 con 10% Arcilla 109
Tabla 73. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.494 con 10% Arcilla 109
Tabla 74. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.494 con 20% Arcilla 110
Tabla 75. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.494 con 20% Arcilla 110
Tabla 76. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.494 con 30% Arcilla 111
Tabla 77. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.494 con 30% Arcilla 111
Tabla 78. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.445 Muestra Original 112
Tabla 79. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.445 Muestra Original 112
Tabla 80. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.445 con 10% Arcilla 113
Tabla 81. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.445 con 10% Arcilla 113
Tabla 82. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.445 con 20% Arcilla 114
Tabla 83. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.445 con 20% Arcilla 114
Tabla 84. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.445 con 30% Arcilla 115
Tabla 85. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.445 con 30% Arcilla 115

Tabla 86. Cuadro de Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días con Porcentajes de Arcilla 116
Tabla 87. Comparativa entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.53 117
Tabla 88. Comparativa entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.494 118
Tabla 89. Comparativa entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.445 119
Tabla 90. Módulo de Elasticidad Calculado 127
Tabla 91. Tabla de Módulo de Elasticidad según ACI 128
Tabla 92. Valor de Alfa Calculado 132
Tabla 93. Valores de Alfa según ACI 133
Tabla 94. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C =0.53 Muestra Original 138
Tabla 95. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C =0.53 con 10% de Arcilla 138
Tabla 96. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C =0.53 con 20% de Arcilla 139
Tabla 97. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C =0.53 con 30% de Arcilla 139
Tabla 98. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.494 Muestra Original 140
Tabla 99. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.494 con 10% de Arcilla 140
Tabla 100. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.494 con 20% de Arcilla 141
Tabla 101. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.494 con 30% de Arcilla 141
Tabla 102. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.445 Muestra Original 142

Tabla 103. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.445 con 10% de Arcilla 142
Tabla 104. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.445con 20% de Arcilla 143
Tabla 105. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.445con 30% de Arcilla 143
Tabla 106. Cuadro de Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días con los Porcentajes Arcilla 144
Tabla 107. Resumen de Resistencias de Tracción por Flexión de Viguetas y Comparación con Esfuerzos a Compresión con a/c = 0.53 145
Tabla 108. Resumen de Resistencias de Tracción por Flexión de Viguetas y Comparación con Esfuerzos a Compresión con a/c = 0.494 146
Tabla 109. Resumen de Resistencias de Tracción por Flexión de Viguetas y Comparación con Esfuerzos a Compresión con a/c = 0.445 147
Tabla 110. Tolerancia de Dimensiones en Paneles Prefabricados 151
Tabla 111. Períodos Mínimos Para Desencofrar y Descimbrar 154
Tabla 112. Cuadro Comparativo de los Ensayos de Laboratorio con las Especificaciones 158
Tabla 113. Cuadro de Resumen de los Ensayos en Cemento 159
Tabla 114. Resistencia de Tracción con respecto a la Compresión 162

Índice de Figuras

Figura 1. Método de Cuarteo y Horno de Laboratorio.....25
Figura 2. Serie de Tamices para el Agregado Grueso.....26
Figura 3. Tamizadora del Agregado Grueso 26
Figura 4. Serie de Tamices para el Agregado Fino.....29
Figura 5. Métodos de Tamizado para el Agredo Fino.....29
Figura 6. Material Retenido en la Charola 30
Figura 7. Balanza de Laboratorio 32
Figura 8. Matraz para el Ensayo de Gravedad Específica.....32
Figura 9. Matraz lleno con material y agua hasta los 500 cm3.....33
Figura 10. Método de Rodadura para eliminación de Burbujas en el Matraz 33
Figura 11. Determinación de la Masa y el Matraz.....34
Figura 12. Determinación de la Muestra Saturada con Superficie Seca 37
Figura 13. Cesta de Alambre para el Ensayo de Gravedad Especifica del Agregado Grueso.....38
Figura 14. Determinación de la Masa Aparente de la Muestra Sumergida 38
Figura 15. Compactación de la Primera Capa para el Ensayo de Peso Unitario 41
Figura 16. Compactación y Enrazado el Cilindro de Ensayo.....42
Figura 17. Acomodación de las Partículas en el Cilindro de Ensayo 43
Figura 18. Compactación del Material.....43
Figura 19. Llenado del Molde con Material.....45
Figura 20. Recipiente para el Ensayo de Contenido Orgánico 46
Figura 21. Recipiente con Hidróxido de Sodio hasta 200 cm3.....46
Figura 22. Escala de Gardner 47
Figura 23. Capa Delgada de Agua en el Recipiente.....50
Figura 24. Disgregación de las Partículas Externas.....50
Figura 25. Elementos de la Máquina de los Ángeles 52
Figura 26. Esferas para el Ensayo de la Máquina de los Ángeles 54

Figura 27. Máquina de los Ángeles 54
Figura 28. Contador de Número de Revoluciones 55
Figura 29. Lavado del Material 55
Figura 30. Envase para el Ensayo de Equivalente de Arena del Agregado Fino 57
Figura 31. Material a 5 mm de su capacidad 57
Figura 32. Solución Concentrada 57
Figura 33. Probeta Graduada con 4.0" de solución 58
Figura 34. Probeta en Posición Horizontal 58
Figura 35. Agitar la Probeta por 30 segundos. 59
Figura 36. Llenar la Probeta hasta la Marca de 15" 59
Figura 37. Ensayo de Equivalente de Arena 60
Figura 38. Muestras Sumergidas en la Solución de Sulfato 61
Figura 39. Cubrir las Muestras 61
Figura 40. Muestras en el Horno 62
Figura 41. Arcilla Expandida 64
Figura 42. Proceso de Fabricación de Arcilla Expandida 66
Figura 43. Cemento Selvalegre 84
Figura 44. Cemento Holcim 85
Figura 45. Procedimiento de Ensayo del Hormigón Según el Cono de Abrams 102
Figura 46. Asentamiento del Hormigón 103
Figura 47. Resistencia adquirida a los 28 días en el Ensayo a Compresión de Cilindros (referido a la tabla 86) 116
Figura 48. Relación entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.53 117
Figura 49. Relación entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.494 118
Figura 50. Relación entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.445 119
Figura 51. Modelos Típicos de Fractura 120
Figura 52. Condiciones de Humedad de los Agregados 121
Figura 53. Módulo Tangente y Secante del Concreto 122

Figura 54. Compresómetro en Ensayo 124
Figura 55. Diagrama de Desplazamientos 125
Figura 56. Gráfica comparativa de los Módulos de Elasticidad Calculados 127
Figura 57. Gráfica comparativa de los Módulos de Elasticidad según ACI 128
Figura 58. Módulo de Elasticidad para una A/C= 0.53 129
Figura 59. Módulo de Elasticidad para una A/C= 0.494 130
Figura 60. Módulo de Elasticidad para una A/C= 0.445 131
Figura 61. Gráfica comparativa de los valores de Alfa Calculado 132
Figura 62. Gráfica comparativa de los valores de Alfa según ACI 133
Figura 63. Valores de α para una A/C= 0.53 134
Figura 64. Valores de α para una A/C= 0.494 135
Figura 65. Valores de α para una A/C= 0.445 136
Figura 66. Esquema del Aparato Para el Ensayo de Flexión de Viguetas 137
Figura 67. Resistencia a los 28 días en el Ensayo a Flexión de Viguetas 144
Figura 68. Resistencia a la Tracción por Flexión de Vigas a 28 días con una a/c=0.53 145
Figura 69. Relación de Esfuerzos a tracción por Flexión de Vigas / Esfuerzo a Compresión para una Relación a/c= 0,53 145
Figura 70. Resistencia a la Tracción por Flexión de Vigas a 28 días con a/c=0.494 146
Figura 71. Relación de Esfuerzos a tracción por Flexión de Vigas / Esfuerzo a Compresión para una Relación a/c= 0,495 146
Figura 72. Resistencia a la Tracción por Flexión de Vigas a 28 días con a/c=0.445 147
Figura 73. Relación de Esfuerzos a tracción por Flexión de Vigas / Esfuerzo a Compresión para una Relación a/c= 0,445 147
Figura 74. Panel Portante 150
Figura 75. Paneles Aglomerados no Portantes 150
Figura 76. Magnitudes de un Panel Prefabricado. 151
Figura 77. Encofrado de Paneles Verticales 152
Figura 78. Costo de Fabricación de un Panel Prefabricado 155

1 CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción

A lo largo de los años, el hombre ha ido desarrollando nuevas técnicas de construcción que le faciliten cada vez más su estilo de vida; desde la prehistoria, en la cual, la causa principal de las construcciones era protegerse de las adversidades del clima, animales y fenómenos naturales; hasta nuestros días, en los cuales las construcciones son fundamentales para poder realizar diferentes actividades como: la educación, cultura, salud, comercio, etc; con lo cual, también, la ingeniería ha evolucionado cada vez más.

La mayoría de obras de ingeniería requieren generalmente hormigones resistentes y compactos, pero se necesitan también hormigones que sean ligeros, para poder alivianar el peso de la estructura, y, así, reducir las cargas sísmicas de la edificación; con esto surge el tema de construir con agregados livianos que disminuyan el peso propio del hormigón, pero a su vez, que aporten resistencia a la estructura. Los agregados más utilizados para este fin son las arcillas expandidas (arlita), piedra pómez, pizarras, ceniza volante y escorias expandidas.

> La presente investigación, empleó el hormigón alivianado o como la mayoría de veces se le conoce como: concreto ligero. Como definición un concreto ligero es "un concreto de características propias que por un medio o por otro se ha hecho más ligero que el concreto convencional de cemento, arena y grava, que por tanto tiempo ha sido empleado en las construcciones" (Short y Kinniburgh, 1967, pág.15).
>
> Las caracteristicas que este tipo de concreto presenta, son: densidades mucho menores a las del concreto tradicional. "Las ventajas de tener materiales con baja densidad son muy numerosas; por ejemplo, reducción de las cargas muertas,

mayor rapidez de construcción, menores costos de transporte y acarreo" (Short y Kinniburgh, 1967, pág.17).

Durante la presente investigación, se realizó primeramente el diseño de las dosificaciones con agregados obtenidos de la mina de Pifo, se utilizó cemento Holcim, y se procedió a ensayar las probetas para verificar la resistencia característica de cada una.

Es decir, se partió con una relación A/C ya verificada y luego se reemplazó la arcilla expandida por una cantidad de agregado fino.

El diseño de los cilindros de hormigón alivianado, se lo hizo a través de una dosificación, que abarcó diferentes tipos de porcentaje de arcilla expandida, en proporciones del 10%, 20% y 30% que fueron añadidas a las dosificaciones patrones ya realizadas, para esto se sustituyó la arena como agregado y luego se añadió los nuevos pesos a la mezcla.

Una vez realizada la mezcla, se pudo verificar fácilmente el cambio en el asentamiento, consistencia, trabajabilidad, peso unitario y contenido de aire del hormigón, dependiendo del porcentaje de arcilla expandida que se haya empleado.

Se realizó ensayos de compresión en cilindros a los 7 y 28 días, a su vez ensayos de flexión en vigas a los 28 días, con lo cual se obtuvo las cargas máximas y deformaciones, que fueron datos necesarios para poder obtener los módulos de elasticidad y comparar la variación de densidad, peso y carga máxima que presenta el hormigón una vez añadida la arcilla expandida a la mezcla.

La finalidad de la presente investigación, fue analizar los resultados obtenidos en las muestras cilíndricas de hormigón con arcilla expandida sometidas a compresión, y hacer una comparación con el hormigón tradicional, para poder verificar así la conveniencia, ventajas y desventajas del hormigón alivianado.

1.2. Objetivo y Alcance

1.2.1 Objetivo General

- Diseñar una mezcla de hormigón alivianado utilizando arcilla expandida en sustitución del agregado fino (arena) y poder verificar la resistencia a compresión de la misma.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar cada uno de los materiales que se utilizaron en el diseño del hormigón liviano, para así verificar el aporte que proporcionan con sus características físicas y mecánicas al hormigón estructural.
- Establecer la dosificación apropiada del material (arcilla expandida), que debe colocarse para obtener un hormigón liviano y adecuado, en el diseño de paneles prefabricados no estructurales.
- Analizar los resultados para determinar si la arcilla expandida es un buen agregado en la elaboración de paneles prefabricados, siguiendo la normativa ASTM C128, ASTM C127, ASTM C117, ASTM D2419 y la normativa del Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN 860, INEN 696, INEN 690, para la elaboración de paneles no estructurales.
- Determinar la resistencia a la compresión y flexión del hormigón hecho con arcilla expandida, a los 7 y 28 días.
- Realizar una comparación entre los resultados obtenidos del hormigón tradicional, usando cemento Holcim, y el hormigón diseñado con diferentes porcentajes de arcilla expandida.

1.2.3 Alcance

En el presente trabajo de disertación, se elaboró un hormigón alivianado mediante la utilización de agregado liviano (arcilla expandida) en varias proporciones, adicionalmente se realizaron ensayos de laboratorio demostrando que la utilidad del material es la adecuada; como la propiedad mecánica en el hormigón es más relevante, se realizó ensayos a compresión y flexión mediante probetas cilíndricas y viguetas; para el efecto, se elaboraron 96 cilindros y 48 viguetas.

El estudio contempló analizar tres relaciones A/C diferentes (0.53, 0.494 y 0.445).

1.3. Antecedentes

El uso del hormigón como elemento constructivo, ha estado presente en multitud de estructuras y edificaciones; desde los albores del Imperio Romano hasta nuestros días. Paralelamente han ido evolucionando con él, tanto los elementos básicos de las obras en las que se ha utilizado este material, como la propia puesta en obra del mismo, los ensayos que se realizan sobre este para asegurar su calidad y los aditivos utilizados en la elaboración del propio hormigón (Nistal Cordero, Retana Maqueda y Ruíz Abrio, 2012, pág. 1).

El hombre a lo largo de la historia, ha ido obteniendo otros materiales de características parecidas a las piedras naturales, pero con evidentes ventajas en cuanto a su facilidad de obtención, puesta en obra, economía de coste, o incluso para obtener características de resistencia que las piedras naturales no posibilitaban. Ello ha conducido a la elaboración de un tipo de materiales de construcción que se conoce de una forma muy genérica como piedras artificiales (Materiales de construcción, 2007).

> Los primeros hormigones livianos utilizados para construir edificaciones surgieron en el Imperio Romano en los años 20 a.C. Estos primeros hormigones eran resultado de la mezcla de materiales cementantes, formados a partir de limos quemados con materiales de baja densidad como lo es la piedra pómez. (Valdez Guzmán, Suárez Alcívar, & Proaño Cadena, s,f,.)

> "La arlita, … se emplea preferentemente como aligerante en productos para el sector de la construcción, especialmente en hormigones, sustituyendo parcial o totalmente a los áridos que forman parte de la mezcla." (Crespo Amorós, Nadal Gisbert, Sanchez Caballero y Juarez Varón, 2014, pág.111)

> El descubrimiento de la arcilla expandida se remonta hacia el año 1885 pero para el año 1918 surge la explotación en escala industrial, Stephen J. Hayde en Kansas City crea la patente desarrollando un proceso para expandir arcillas y pizarras, por medio de un horno tubular rotatorio, obteniendo un agregado de baja densidad. (Cubaud y Muhat, 1969, pág.5)

> En la actualidad son muchos los factores que intervienen en el resultado de la resistencia final del material, de entre los que se van a destacar la temperatura ambiente en el momento del hormigonado, los aditivos empleados y los ensayos a los que se somete el hormigón. (Nistal Cordero et al., 2012,pág.1)

Hoy en día, el hormigón es un material utilizado de alguna manera en toda obra civil, desde la más pequeña como el recubrimiento de paredes, hasta grandes obras de ingeniería como las centrales hidroeléctricas; también se ha logrado una combinación entre materiales como el acero y el hormigón. Finalmente, las características que el hormigón tiene es su gran capacidad para resistir fuego o temperaturas extremas; además, protege al acero de la corrosión.

1.4. Metodología

Investigación de laboratorio

Para realizar el trabajo de investigación se utilizó el laboratorio de hormigones de la facultad de ingeniería civil de la PUCE, en donde se realizaron todos los ensayos de hormigón, se realizaron los ensayos respectivos siguiendo las normativas correspondientes de acuerdo a las normas INEN y ASTM; con los resultados obtenidos se procedió a los cálculos, elaboración de tablas y gráficas interpretadas que nos permitieron desarrollar la investigación de acuerdo a las objetivos previstos en la tesis.

Investigación experimental

El presente trabajo se obtuvo de un diseño experimental, el cual consiste en utilizar el método científico en conjunto con una serie de experimentos tanto dentro como fuera de un laboratorio, para lo cual se trabajó con probetas cilíndricas de hormigón una y otra vez en diferentes proporciones de materiales hasta alcanzar las resistencias características deseadas de 210, 240 y 280 kg/cm2, adicionando áridos de arcilla expandida (arlita) en diferentes porcentajes, sustituyendo el 10, 20 y 30% del volumen absoluto del hormigón, el cual está formado por los volúmenes de aire, agua, cemento y agregados (fino y grueso). Posteriormente, se analizaron los resultados con el objetivo de obtener una dosificación adecuada para la fabricación de paneles alivianados.

Investigación descriptiva

Con la recolección de datos en laboratorio, analizados y los resultados obtenidos, se procedió a realizar las recomendaciones y conclusiones. Con el fin de verificar los objetivos planteados anteriormente.

Población y tamaño de la muestra

Para la muestra se tomó como referencia la norma ASTM C-31, en la cual especifica que se deben preparar al menos dos probetas de ensayo de cada muestra para evaluar la resistencia a la compresión en determinada edad por el promedio, se evaluó las resistencias de las probetas de hormigón a los 7 y 28 días. La norma (ACI, 2014) afirma: "A menos que se especifique lo contrario, f'c debe basarse en ensayos a los 28 días" (pág. 333).

El número de probetas de ensayo que se tomó fueron 8 muestras por cada dosificación, es decir se realizaron un total de 96 cilindros y 48 viguetas adicionando los diferentes porcentajes de arcilla expandida y se las ensayaron a los 7 y 28 días.

Procedimiento y análisis

Para efectos de dosificación, se utilizaron los siguientes ensayos que nos sirvieron para poder realizar las diferentes mezclas:

- **Graduación: "**Términos utilizados para expresar la conformación de tamaños o arreglo granulométrico de las partículas de los áridos" (INEN, 2010, pág. 4).
- **Humedad natural:** Cantidad de agua contenida en una muestra representativa en su condición natural.
- **Gravedad específica:** "Relación entre la masa de un volumen de material a una temperatura definida y la masa de agua destilada de igual volumen a una temperatura definida" (INEN, 2010, pág. 4).
- **Absorción del material: "**El incremento de la masa de un cuerpo sólido poroso como resultado de la penetración de un líquido en sus poros permeables" (INEN, 2010, pág.1).

2 CAPITULO II: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MATERIALES

2.1. Hormigón

> "El hormigón es una piedra artificial formada por áridos naturales (arena y grava) cementados por una pasta conglomerante hidráulica, es decir, que fragua expuesta al aire como sumergida en agua y, a temperatura ambiente" (Medina Sanchez, 2008, pág.1)

El hormigón al ser una combinación de varios materiales depende específicamente de estos, es decir de la calidad con que estén hechos como la arena, ripio y a su vez el tipo de cemento que se esté usando. Al ser un material dependiente de los otros significa que también su resistencia variará en cuanto a diferentes tipos de agregados se estén utilizando y la dosificación que se haya realizado.

> El hormigón, al ser un material pétreo, trabaja muy bien a compresión, pero es muy poco apto para trabajar a tracción. Es necesario combinarlo con otro material que funcione bien a tracción, como son las varillas de acero (barras corrugadas, que se denominan armaduras), pero también la fibra de vidrio. (Medina Sanchez, 2008, pág.1)

2.1.1 Propiedades Hormigón Fresco

> Son propiedades y datos importantes del hormigón recién preparado u hormigón "fresco" las proporciones de los componentes o dosificación del cemento, de los áridos y del agua; la consistencia y docilidad del hormigón fresco suelto y, finalmente, el peso específico aparente (o peso volumétrico) del hormigón fresco compactado. (Hummel, 1966, pág. 5)

Consistencia: Se entiende por consistencia "de un hormigón recién preparado,… como la movilidad más o menos manifiesta de la masa sin fraguar… Se distinguen 3 tipos de consistencia" (Hummel, 1966, pág. 6).

Hormigón consistente: (Llamado antes hormigón con consistencia de tierra húmeda) está caracterizado por el hecho de que, al ser apretado o amasado en la mano, deja visibles señales de humedad en los dedos, o bien cuando aparece un brillo húmedo sobre el hormigón acabado de repasar varias veces con la paleta. (Hummel, 1966, pág. 6)

"Un hormigón consistente requiere (si se ha de obtener un hormigón compacto) un considerable trabajo de compactación, apisonando, vibrando o prensando, sobre todo para lograr una buena unión entre las diferentes capas o lechos del hormigón" (Hummel, 1966, pág. 6).

Hormigón plástico o blando: "Se obtiene con una mayor dosis de agua a igualdad de las demás condiciones es "ya más apto para la compactación", que admite con menos dificultad. Con él, el trabajo invertido en darle compacidad va disminuyendo progresivamente" (Hummel, 1966, pág. 6).

Hormigón fluido: "Se prepara con una adición aún mayor de agua, llena fácilmente los moldes o encofrados, sin necesidad de gran ayuda, a causa de su gran movilidad y su fluidez" (Hummel, 1966, pág. 6).

2.1.2 Propiedades Hormigón Endurecido

Curado: El aumento de la resistencia con la edad continúa desde que (1) el cemento no hidratado aun esté presente, (2) el concreto permanezca húmedo…, (3) la temperatura del concreto permanezca favorable y (4) haya suficiente

espacio para la formación de los productos de hidratación. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004, pág.6)

Velocidad de secado del concreto: El concreto no se endurece o se cura con el secado. El concreto (o más precisamente el cemento en el) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto se seca, la resistencia para de crecer; el hecho es que el secado no indica que haya ocurrido suficiente hidratación para que se obtengan las propiedades físicas deseables. (Kosmatka et al., 2004, pág.7)

"Por ejemplo,… el concreto necesita tener suficiente humedad durante el período de curado para que el concreto se hidrate hasta que se puedan lograr las propiedades deseables" (Kosmatka et al., 2004, pág.7).

Resistencia: La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm2), megapascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg2 o psi) a una edad de 28 días. (Kosmatka et al., 2004, pág.8)

Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días. (Kosmatka et al., 2004, pág.8)

"La resistencia a compresión que el concreto logra, f'c, es función de la relación agua – cemento (o relación agua – materiales cementantes), de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto" (Kosmatka et al., 2004, pág.8).

Masa volumétrica (Masa unitaria, densidad): El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene masa volumétrica (masa unitaria, densidad) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m3…. La masa volumétrica del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. (Kosmatka et al., 2004, pág.10)

Tabla 1. Promedio de las Masas Volumétricas Observadas para el Concreto Fresco

Tamaño máximo del agregado (mm)	Contenido de aire, porcentaje	Agua (kg/m3)	Cemento (kg/m3)	Masa especifica, kg/m3				
				Masa especifica relativa del agregado				
				2,55	2,6	2,65	2,7	2,75
19	6	168	336	2194	2227	2259	2291	2323
37,5	4,5	145	291	2259	2291	2339	2371	2403
75	3,5	121	242	2307	2355	2387	2435	2467

Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto. (Kosmatka et al., 2004)

2.1.3 Hormigón Liviano

Se designa convencionalmente como hormigones livianos a aquellos que poseen características propias, que mediante métodos en el proceso de su elaboración se ha hecho más ligero que el hormigón convencional de cemento, grava y arena, el cual durante muchos años ha sido empleado como el material principal en el área de la construcción. (Valdéz, 2010, pág.15)

Los primeros edificios construidos con hormigones estructurales livianos aparecieron luego de la Primera Guerra Mundial. En el año 1922 se construyó la ampliación del gimnasio de la escuela de deportes acuáticos de la ciudad de Kansas y fue este el primer edificio construido con hormigón liviano estructural en la historia. El suelo donde se cimentó este edificio tenía una capacidad portante muy baja, por esta razón se optó por utilizar un hormigón liviano y poder así aligerar el peso que se descargaba al suelo. (Valdéz y Suárez, 2010, pág.15)

2.1.4 Densidad

La densidad del hormigón se considera como una propiedad muy importante, ya que, además de definir el peso que tendrá el material por unidad de volumen, influye directamente en una serie de otras propiedades, como resistencia, rigidez, conductividad térmica y acústica, trabajabilidad, etc. (Vileda, s.f., pág.1.)

"La humedad juega un papel importante en la densidad que presenta el hormigón liviano, ya que tienen una capacidad importante de absorción de agua" (Vileda, s.f., pág.1.).

El concreto ligero fue conocido durante muchos años como un concreto cuya densidad superficialmente seca no fuese mayor de 1600 kg/m3. Por otra parte, con la introducción de miembros estructurales de concreto reforzado con agregados de peso ligero, la densidad límite tuvo que ser revisada, ya que algunas mezclas de concreto hechas para este propósito, a menudo daban concretos de densidad (superficialmente secos) de 1840 kg/m3 o mayores. Esto, sin embargo, es aun concreto ligero, dado que resultaba todavía bastante más ligero que el concreto común, que usualmente pesa entre 2400 y 2560 kg/m3. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.15)

"La característica más evidente del concreto ligero es, por supuesto, su densidad, la cual es siempre considerablemente menor que la del concreto ordinario y con frecuencia, solo una fracción de la misma" (Short y Kinniburgh, 1967, pág.16).

2.1.5 Resistencia

Así como otros agregados de peso ligero, el concreto hecho con arcilla o con esquistos expandidos depende para su resistencia no solo de la resistencia inherente del agregado, sino también del grado de compactación, que a su vez

depende de la forma y graduación del agregado. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.139)

… la resistencia al aplastamiento del concreto con agregados de peso ligero para estructuras, depende aparentemente de las proporciones de la mezcla en una forma bastante similar a como sucede en el concreto común. Así, incrementando el contenido de cemento, pero manteniendo la trabajabilidad de la mezcla obtendremos un concreto más resistente, en vista de que dicha mezcla tendrá una relación agua/cemento más baja. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.55)

Al añadir arena a las mezclas de concreto ligero, se incrementa considerablemente su densidad y su resistencia a la compresión… Para los agregados de cenizas de combustible en polvo y de arcilla expandida, sin embargo, se incrementa considerablemente la densidad del concreto, y es generalmente de mayor importancia que cualquier aumento en la resistencia a la compresión lograda por la adición de arena a la mezcla. Por ejemplo, mientras que para el concreto de escoria espumosa el aumento en densidad debido a la adición de arena puede variar de 3.5% en resistencias bajas a menos de 1% en concretos de mayor resistencia, los aumentos correspondientes, en densidad para concretos de arcilla sinterizadas y cenizas de combustible en polvo puede variar de 10 a 12%. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.174)

2.1.6 Clasificación

Por su aplicación el hormigón alivianado se clasifica en:

Hormigón de Relleno

Es aquel cuya densidad está comprendida entre los 300kg/m3 y los 1000kg/m3. Estos hormigones son buenos aislantes térmicos, pero poseen bajas resistencias

por lo cual no son utilizados en elementos estructurales. El hormigón de relleno es una mezcla fluida que tiene la finalidad de solidarizar las armaduras con la mampostería, llenando los huecos donde se encuentra. El tamaño máximo del agregado debe ser de 25 mm a fin de evitar que queden oquedades en la estructura, y el hormigón de relleno deberá tener la fluidez necesaria para obtener un llenado íntegro. (Valdéz y Suárez, 2010, pág.19)

Hormigón Aislante

Es aquel cuya densidad es menor a los 800 kg/m3, su resistencia a la compresión está comprendida entre los 0.7 MPa y 7 MPa, además se clasifica en función de su coeficiente de conductividad térmica que debe estar por debajo de los 0.3 J/ms°C y su densidad es más baja que los hormigones livianos estructurales. Además, centra sus características en la incorporación como componente fundamental del poliestireno expandido, el cual le confiere al hormigón sus prestaciones desde el punto de vista de aislamiento y acústico. (Valdéz y Suárez, 2010, pág.19)

Hormigón Estructural o de alto desempeño

"El hormigón estructural liviano comparado con el hormigón estructural tradicional es de 25% a un 35% más liviano. Se clasifica en función de una resistencia mínima, una densidad en estado seco que generalmente no excede los 1840 kg/m³" (Valdéz y Suárez, 2010, pág.20).

Se lo obtiene a partir de

Agregados livianos y cuyo peso unitario seco está entre los 1600 kg/m3 y 1760 kg/m3 y su esfuerzo mínimo a la compresión a los 28 días es de 17 MPa. Arena natural y agregado grueso liviano cuyo peso unitario seco está entre los 1680

kg/m3 y los 1840 kg/m3 y su esfuerzo mínimo a la compresión a los 28 días es de 17 MPa. (Valdéz y Suárez, 2010, pág.20)

Se lo emplea en edificios de estructura de acero, hormigón de edificios y estructuras de estacionamientos. Elementos prefabricados de hormigón como la viga doble Te, paneles de planchas de hormigón y bóvedas entre otros. Estructuras marinas, muelles flotantes, puentes, buques y plataformas de extracción de petróleo. (Valdéz y Suárez, 2010, pág.21)

2.1.7 Características, propiedades físicas y químicas

Aislamiento térmico

Una de las características más sensacionales del concreto ligero es el valor relativamente alto de aislamiento térmico que posee, aislamiento que se hace mayor o menor en razón inversa a la densidad del material. La mayor parte de los materiales inorgánicos que se utilizan en la construcción tienen una composición química muy semejante, la cual consiste principalmente en una mezcla de silicatos, razón por la que su densidad real y su conductividad térmica son también muy parecidas. Las diferencias, tanto en la densidad aparente de los concretos, como en su conductividad térmica efectiva, provienen de sus respectivas porosidades. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.84)

Protección contra el fuego

"Otra aplicación importante del aislamiento térmico es en la protección de las estructuras contra el daño causado por fuego" (Short y Kinniburgh, 1967, pág.95).

Los materiales se clasifican en combustibles y no combustibles, siendo los primeros aquellos materiales que una vez encendidos contribuyen a la intensidad

del fuego produciendo calor, mientras que los segundos no lo hacen. Los materiales inorgánicos tales como la piedra, los ladrillos y el concreto son no combustibles; los materiales orgánicos tales como la madera, son combustibles. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.95)

Durabilidad

Se puede definir como la habilidad de un material para resistir los efectos de todos los agentes del medio que lo rodean. En un material de construcción estos se pueden interpretar como los ataques químicos, los esfuerzos físicos y las acometidas mecánicas. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.101)

"El ataque químico generalmente se presenta como agua freática corrosiva, particularmente sulfato, un ambiente contaminado y escurrimientos de líquidos reactivos" (Short y Kinniburgh, 1967, pág.101).

El concreto ligero no posee una resistencia especial a estos agentes, sino que, por el contrario, por el hecho de ser en general más poroso que los concretos convencionales, es acaso más vulnerable. Por esta razón, los concretos ligeros no se recomiendan para usarse debajo del nivel natural del terreno. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.101)

"Los esfuerzos físicos a los cuales el concreto queda expuesto son principalmente la congelación, la contracción y los esfuerzos de temperatura" (Short y Kinniburgh, 1967, pág.101).

Absorción de agua

"Los concretos ligeros, especialmente aquellos utilizados en bloques son algo porosos y, por lo tanto, tienen una mayor absorción de agua que los concretos ordinarios" (Short y Kinniburgh, 1967, pág.103).

Los agregados de peso ligero por si solos, son más porosos que las gravas ordinarias, razón por la cual absorben una cantidad bastante mayor de agua durante la elaboración, del concreto. Se conocen métodos para impermeabilizar agregados de peso ligero, pero no se ha demostrado todavía su aceptabilidad económica. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.103)

Propiedades acústicas

"Los concretos ligeros, tal y como se podría esperar, no tienen propiedades especiales de aislamiento del sonido" (Short y Kinniburgh, 1967, pág.107).

La absorción del sonido es una propiedad bastante distinta a la del aislamiento acústico. Los materiales que absorben el sonido reducen la reflexión del sonido de una superficie, mientras que los materiales que aíslan el sonido reducen el sonido que pasa a través de ellas. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.107)

"La mayoría de concretos ligeros, excepto aquellos que tengan superficies selladas, muestran una cantidad de absorción de sonido moderadamente buena" (Short y Kinniburgh, 1967, pág.107).

Una de las ventajas del concreto ligero absorbente, sobre materiales más densos, cuando se usa en la construcción de muros huecos, es la absorción inherente que se proporciona en la cavidad, dando así el efecto de un colchón de absorción de

sonido, o sea un atenuante oportuno del sonido utilizando algunas veces en los muros huecos. (Short y Kinniburgh, 1967, pág.107)

2.1.8 Composición

La composición básica de la arlita es una mezcla arcillosa (silicatos de aluminio hidratados) que sometida a altas temperaturas se expande por la transformación de agua en vapor. El incremento de volumen experimentado en el proceso térmico incrementa el volumen inicial de la arcilla en 5 veces. La arlita tiene una densidad entre 325 – 750 kg/m3. (Amorós et al., 2014, pág.111).

2.1.9 Ventajas y desventajas del hormigón ligero

Las ventajas de tener materiales con baja densidad son muy numerosas; por ejemplo:

- "Reducción de las cargas muertas
- Mayor rapidez de construcción
- Menores costos de transporte y acarreo
- Posee una conductividad térmica relativamente baja, propiedad que mejora conforme se reduce su densidad" (Short y Kinniburgh, 1967, pág. 17).

Las ventajas que presenta este tipo de hormigón son:

- Permite disminuir el peso en estructuras y cargas a la cimentación.
- No requiere compactación.
- Su colocación y acabado son más económicos.
- Fraguado uniforme y controlado.
- Baja densidad.

- Baja aislación térmica.
- Buena aislación acústica.
- Mayor resistencia al fuego que el concreto convencional.
- Excelente trabajabilidad.
- Bajo módulo de elasticidad. (Valdéz et al., s.f, pág.3)

Las desventajas que presenta este tipo de hormigón son:

- Los agregados livianos podrían ser más caros que la grava común, pero esta diferencia podrá ser compensada con un menor costo en transporte e incluso puede influir en el tipo de cimentación favorablemente.
- Debido a que el módulo de elasticidad es bajo se pueden producir mayores deformaciones a las de un hormigón convencional.
- No se puede determinar el grado de incidencia en la relación de agua-cemento debido a su gran absorción.
- La contracción por secado es mayor a la del hormigón convencional y por lo tanto debe tenerse en consideración en el dimensionamiento de los elementos constructivos.
- La falta de experiencia en el uso del hormigón liviano genera inconvenientes en su uso y elaboración.
- Debido a su gran absorción se presentan problemas de corrosión del acero, pero este problema se reduce al aumentar el recubrimiento del mismo. (Valdéz et al., s.f, pág.3)

2.1.10 Aplicaciones

"Las aplicaciones que se le pueden dar al hormigón liviano se basan exclusivamente en el diseño que se le dé además de los agregados escogidos para la elaboración del mismo" (Valdéz et al., s.f, pág.3).

Hormigón Estructural

El uso esencial del concreto liviano busca disminuir la carga muerta de una estructura de hormigón, lo que a su vez permite al diseñador estructural reducir el tamaño de las columnas, zapatas y otros elementos de carga en la cimentación. (Valdéz et al., s.f, pág.3)

Aislante térmico

"Un aislante térmico es un material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura" (Valdéz et al., s.f, pág.3).

"Una de las características del hormigón liviano es el valor alto de aislamiento térmico, el cual aumenta o disminuye en relación inversa con la densidad del material" (Valdéz et al., s.f, pág.3).

Estructura resistente al fuego

La resistencia al fuego se define como el tiempo durante el cual el muro de hormigón es capaz de constituir una pantalla contra las llamas y los humos.

El grado de resistencia al fuego depende directamente del tipo de material a emplear para la elaboración del elemento hormigón, tipo de ocupación, tamaño del edificio. (Valdéz et al., s.f, pág.3)

Hoy en día hay una gran variedad de formas de recubrimiento del concreto liviano, que debido a sus propiedades de aislamiento térmico ofrecen una protección eficiente. Tal es el caso de los bloques y losas de hormigón que utilizan agregados como la escoria espumosa, arcillas expandidas, cenizas sintetizadas de combustible en polvo o losas de hormigón aireado. (Valdéz et al., s.f, pág.4)

Prefabricados

"Los prefabricados de hormigón son elementos compuestos de hormigón, realizados en una fábrica o complejo industrial sobre el terreno y, posteriormente, instalados en su posición final" (Valdéz et al., s.f, pág.3).

"El uso más común de prefabricados de hormigón con agregados de peso ligero y del hormigón aireado es en forma de bloques de mampostería utilizados para la construcción de muros de carga y sin carga o muros divisorios" (Valdéz et al., s.f, pág.3).

2.2. Áridos (Agregados)

El hormigón está compuesto por materiales fundamentales como son, "Los agregados también llamados áridos, inertes de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento portland en presencia de agua conforman un todo compacto (piedra artificial) conocido como concreto u hormigón" (Guzman, 2001, pág. 65).

Los áridos o agregados naturales para concreto son una mezcla de rocas y minerales. La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede subestimar.

Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004, pág.103)

2.2.1 Propiedades de Los Agregados

Agregados Finos: "Los agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de sus partículas menores que 5mm (0.2 pulgadas)" (Kosmatka et al., 2004 pág.103).

Agregados Gruesos: "Los agregados gruesos consisten en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5mm (0.2 pulgadas) y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm (3/8 y 11/2 pulgadas)" (Kosmatka et al., 2004 pág.103).

2.2.2 Caracterización de los Materiales: Descripción

Tabla 2 Como Influyen los Ensayos de Laboratorio en el Hormigón

Ensayos de Laboratorio	Influencia en el Hormigón	Normas para Realizar el Ensayo
GRANULOMETRÍA	El resultado de la granulometría muestra la distribución y el acomodo de las partículas en el hormigón.	INEN 696 AASHO T-27 ASTMC-136
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ #200	El ensayo de material que pasa por el Tamiz #200 se utiliza para la separación de materiales arcillosos o impurezas sujetas a los áridos, afecta la adherencia entre los áridos y el material cementante.	INEN 697 AASHO T – 11 ASTM C-117
GRAVEDAD ESPECÍFICA	Densidad relativa o gravedad específica, permite determinar si las partículas de los agregados son permeables y pueden estar vacíos parcialmente saturados o totalmente llenos de agua, es importante para diseñar la mezcla de hormigón porque, se determina la cantidad de agregado requerido.	Agregado Fino: INEN 856; AASHO T – 84; ASTM C – 127 Agregado Grueso: INEN 857; AASHO T-85; ASTM C-128
PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS	El Peso Unitario es la relación entre la masa de los agregado y el volumen que ocupa en el hormigón, determina el la cantidad de materiales por m3 y el contenido de aire en la mezcla.	INEN 858 AASHO T-19 ASTM C-29
CONTENIDO ORGANICO DEL ARENA	Los agregados presentan impurezas, lo que afecta la hidratación del hormigón lo que por consecuencia afecta el tiempo de fraguado y durabilidad.	INEN 855 AASHO T-21 ASTM C 40-99
TERRONES DE ARCILLA EN LOS AGREGADOS NATURALES	La presencia de materiales desmenuzables en el hormigón tiene consecuencia como la reducción de la resistencia, alterización de la aprecia externa y modificando la durabilidad.	INEN 698 AASHO T-112 ASTM C-142
DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES	Este ensayo evalúa el desgaste del agregado grueso en condiciones altamente abrasivas puede afectar al hormigón generando mayor porcentaje de finos y cambiando la relación A/C.	INEN 861; 860 AASHO T-96 ASTM C-131
EQUIVALENTE DE ARENA	Este ensayo evalúa la presencia de material arcilloso en la arena, afecta la durabilidad del hormigón.	AASHO T-176 ASTM D 2419
DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS A LA ACCION DEL SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO	Este ensayo tiene como objetivo determinar cómo afectan agentes químicos externos a los agregados que conforman el hormigón.	INEN 863 AASHO T-104 ASTM C-88

Elaborado por: Albán – Utreras

2.2.3 Granulometría

La granulometría se define como: la distribución del tamaño de las partículas mediante el análisis granulométrico, se basa en dividir una muestra de agregado en secciones de similar tamaño. La medida de la cuantía de cada una de estas fracciones es lo que se conoce como granulometría (Sánchez de Guzmán, 2001).

> Las partículas constituyentes de la muestra, en condiciones secas y de masa conocida, se separan por tamaño a través de una serie de tamices organizados por secuencia en forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, que expresan el porcentaje de la masa total, permiten determinar la distribución del tamaño de las partículas. (NTE INEN 0696, 2011, pág.1).

La granulometría de los agregados determina la distribución de las partículas desde la más grande hasta la más pequeña, tenemos diferentes tipos de granulometría:

- Bien gradada: una granulometría bien gradada se obtiene cuando la distribución del agregado o material es complemente uniforme en todos los tamices.
- Mal gradada: una granulometría mal gradada se obtiene cuando la distribución de cada material no es uniforme en los diferentes tamices, presenta una distribución de un solo tamaño.
- Discontinua: la granulometría discontinua se presenta cuando no tiene continuidad el material en todos los tamices, presenta tamices sin material retenido.
- Uniforme: Los tamaños de las partículas aproximadamente son iguales.

Tabla 3 Orden de los Tamices para Ensayo de Granulometría

AGREGADO GRUESO		*AGREGADO FINO*	
Milímetros	Pulgadas	Milímetros	Pulgadas
50.8,	*2,*	*4.76,*	*No. 4*
38.1,	*1 ½,*	*2.36,*	*No. 8,*
25.4,	*1,*	*1.190,*	*No. 16,*
19.0,	*¾*	*0.595,*	*No. 30,*
12.7,	*½,*	*0.297,*	*No. 50,*
9.51,	*3/8,*	*0.142*	*No.100*
4.76	*No. 4*		

Fuente: Manual de Laboratorio de Hormigones (Lara, 2011)

2.2.4 Granulometría Agregado Grueso

La granulometría del agregado grueso determina la cantidad de material que pasa por una serie de tamices con una abertura variada de mayor a menor, la norma ASTM C136 (2014) lo define como:

> Este método de prueba se utiliza principalmente para determinar la clasificación de los materiales propuestos para su uso como agregados. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partícula con los requisitos de especificación aplicables y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos agregados y mezclas que contiene agregados. (pág.1)

El tamaño de la muestra para el ensayo de árido grueso debe cumplir con lo señalado en la tabla 4.

Tabla 4. Tamaño de la Muestra para el Agregado Grueso

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadras (mm)	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9.5	1
12.5	2
19	5
25	10
37	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 0696, 2011)

Se calcula la masa retenida acumulada, con la siguiente expresión:

$$\text{M. R. A.} = \text{M. R. en el tamiz} + \text{M. R. Tamices anteriores}$$

Dónde:

$M.R.A = Masa\ Retenida\ Acomulada$

Con la siguiente expresión se calcula el porcentaje retenido, en cada tamiz:

$$\%\ \text{Retenido} = \frac{\text{Masa Retenida Acumulada}}{\text{Masa de la Muestra}} * 100$$

El porcentaje que pasa por cada tamiz, se calcula con la siguiente expresión:

$$\%\ \text{Pasa} = 100 - \%\ \text{Retenido}$$

PROCEDIMIENTO

1. Previo a la realización del ensayo, la muestra debe ser obtenida por cuarteo y colocada en el horno a una temperatura (105 $\pm$ 5° C), hasta que no tenga pérdida de masa. (Figura 1)



Figura 1. Método de Cuarteo y Horno de Laboratorio
Fuente: Albán – Utreras

2. La cantidad de agregado grueso, se tomará de acuerdo con la Tabla 4.

3. Colocar los tamices de forma descendente (mayor a menor), el tamiz con mayor abertura en la parte superior y al final de toda la serie, el tamiz con menor abertura. (Figura 2)



Figura 2. Serie de Tamices para el Agregado Grueso
Fuente: Albán – Utreras

4. Colocar los tamices en la tamizadora mecánica hasta que el material retenido de cada tamiz sea el 1% del material que pasa cada uno de los tamices. (Figura 3)



Figura 3. Tamizadora del Agregado Grueso
Fuente: Albán – Utreras

5. Se determina la masa del material retenido en cada Tamiz, cuando el tamizado haya terminado, se incluyó en los cálculos el material que retiene la bandeja.

2.2.5 Granulometría Agregado Fino

La granulometría del agregado fino, se define como la distribución de partículas finas a través de una serie de tamices. Los tamices están ordenamos de mayor a menor abertura, varían de 3/8 de pulgada al No. 100, con el respectivo límite en porcentaje de material pasante (Tabla 4). “El agregado fino no deberá tener más del 45% pasando cualquier tamiz y retenido en el próximo tamiz consecutivo de los que se muestran en 6.1, y su módulo de finura no será menor a 2.3 y superior a 3.1.” (ASTM C 33, 2018, pág.1).

Tabla 5.Porcentaje de Material que pasa por Cada Tamiz

Nº de tamiz		Procentaje Material que Pasa
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	#4	95 a 100
2.36 mm	#8	80 a 100
1.18 mm	#16	50 a 85
600 µm	#30	25 a 60
300 µm	#50	5 a 30
150 µm	#100	0 a 10
75 µm	#200	0 a 3.0

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM C 33, 2018)

Módulo de Finura

Se lo conoce como módulo granulométrico o de finura, se obtiene dividiendo para cien la sumatoria de los porcentajes retenidos en la serie de Tyler (serie de tamices). Entre mayor sea el MF el tamaño de las partículas del agregado es más grueso. El Módulo de Finura de los agregados nos ayuda a determinar la proporción de arena y ripio para el hormigón o concreto (Kosmatka et al., 2004).

Este índice es directamente proporcional al tamaño del agregado, por lo que, al tener diferentes tipos de granulometría, se puede obtener un mismo módulo de finura o una variedad, denotando así una medida relativa de finura o grosor del agregado. (Kosmatka et al., 2004 pág.109)

Se calcula la masa retenida acumulada, con la siguiente expresión:

$$\text{M. R. A.} = \text{M. R. en el tamiz} + \text{M. R. Tamices anteriores}$$

Donde:

$M.R.A = Masa\ Retenida\ Acomulada$

Con la siguiente expresión se calcula el porcentaje retenido, en cada tamiz:

$$\%\ \text{Retenido} = \frac{\text{Masa Retenida Acumulada}}{\text{Masa de la Muestra}} * 100$$

El porcentaje que pasa por cada tamiz, se calcula con la siguiente expresión:

$$\%\ \text{Pasa} = 100 - \%\ \text{Retenido}$$

PROCEDIMIENTO

1. La muestra para el ensayo previamente debió ser cuarteada y secada al horno a una temperatura constante de 105 $\pm$ 5° C, durante un período de 24 horas hasta alcanzar una masa constante.
2. Colocar la serie de tamices de mayor a menor de acuerdo al tamaño de abertura.
3. Colocar el agregado fino en el tamiz de mayor abertura. N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100, N° 200. Como se muestra en la figura (Figura 4)



Figura 4. Serie de Tamices para el Agregado Fino
Fuente: Albán – Utreras

4. Tenemos 2 formas para realizar el proceso de tamizado: manual o mecánicamente que consiste en movimientos rotatorios. (Figura 5)



Figura 5. Métodos de Tamizado para el Agredo Fino
Fuente: Albán – Utreras

5. Tamizar hasta que el material retenido de cada tamiz sea menor al 1%; si el material es mayor al 1% se vuelve a realizar el proceso. Se da 150 oscilaciones en 1 minuto y cada 25 se gira con un anglo de 15°.

6. Determinar la masa del material retenido en cada Tamiz, cuando el tamizado haya terminado, incluir el material que retiene la charola (Figura 6).



Figura 6. Material Retenido en la Charola
Fuente: Albán – Utreras

2.2.6 Gravedad Específica

La densidad relativa o gravedad específica es el resultado de dividir la masa de la muestra seca por el volumen, según la noma NTE INEN 0856 (2010) "Este método es utilizado para determinar la densidad de la fracción sólida de un número grande de partículas de árido y proporcionar un valor promedio, que representa la muestra" (pág.1). También se relaciona con la porción de áridos en un volumen asignado.

La norma ASTM C128 (2015) define a la densidad relativa o gravedad específica como: "La relación de masa de un agregado a la masa de un volumen de agua igual al volumen de las partículas agregadas, también conocido como volumen absoluto del agregado. También se expresa como la relación de la densidad de las partículas agregadas a la densidad de agua (pág.2).

A. GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO FINO

El ensayo y las expresiones para el cálculo se tomaron de acuerdo a la norma NTE INEN 0858 (2010).

Se calcula la gravedad específica Bulk o densidad relativa, con la siguiente expresión:

$$GE = \frac{A}{(B + S - C)}$$

Donde:

$Ge = Gravedad\ especifica\ Bulk.$

Se calcula la gravedad específica saturada con superficie seca con la siguiente expresión:

$$Ges = \frac{S}{(B + S - C)}$$

Donde:

$Ges = gravedad\ especifica\ del\ material\ saturado\ con\ superficie\ seca.$

Se calcula la gravedad específica aparente con la siguiente expresión:

$$Gea = \frac{A}{(B + A - C)}$$

Donde:

$Gea = gravedad\ específica\ aparente$

$A = Masa\ de\ la\ muestra\ seca\ (g.)$

$B = Masa\ del\ matraz\ con\ agua.$

$C = Masa\ de\ la\ muestra + matraz + agua.$

$S = Masa\ de\ la\ muestra\ saturada\ con\ superficie\ seca.$

PROCEDIMIENTO

Para la realización del ensayo previamente se preparó la muestra.

1. Tomar 2 muestras de 500 (+-10) gr de árido fino saturado con superficie seca.

2. Determinar la masa del matraz con la balanza en laboratorio. (Figura 7)



Figura 7. Balanza de Laboratorio
Fuente: Albán – Utreras

3. Colocar la muestra en el interior del matraz (Figura 8) a continuación, llenar con agua hasta los 500 cm3 a temperatura 20°C (Figura 9).

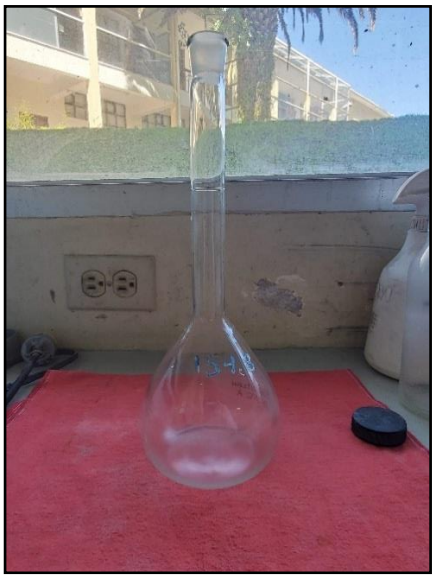


Figura 8. Matraz para el Ensayo de Gravedad Específica
Fuente: Albán – Utreras

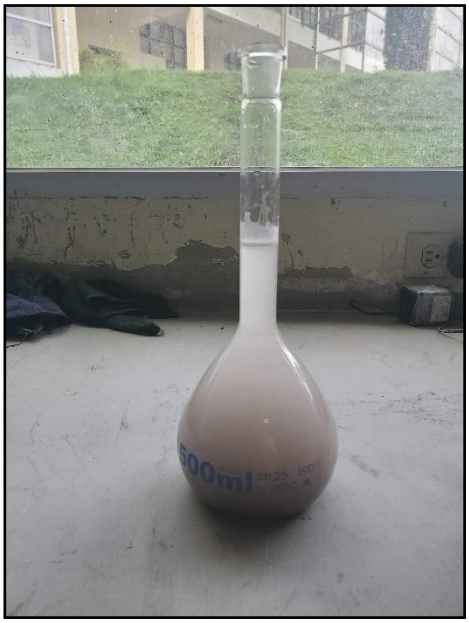


Figura 9. Matraz lleno con material y agua hasta los 500 cm3
Fuente: Albán – Utreras

4. Eliminar las burbujas de aire haciendo rodar o agitar el picnómetro en su eje longitudinal manteniendo una inclinación de 60° aproximadamente (Figura 10), luego se ajusta a temperatura constante de 20°C.



Figura 10. Método de Rodadura para eliminación de Burbujas en el Matraz
Fuente: Albán – Utreras

5. Una vez eliminado todas las burbujas de aire, se llena de agua destilada el matraz hasta la marca de calibración (500 cm3) y finalmente se determina la masa de la muestra en conjunto. (Figura 11).

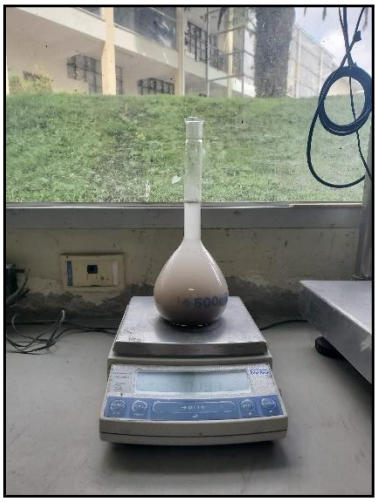


Figura 11. Determinación de la Masa y el Matraz
Fuente: Albán – Utreras

6. Retirar la 1era muestra de agregado fino del matraz, y colocar la 2da en el horno a temperatura uniforme (105 $\pm$ 5°C). Hasta obtener una masa uniforme y por último dejar que se enfríe durante 2 horas.

Se determina la masa de agua añadida al matraz, con la siguiente relación:

$$Ma = Mmw - (Mm + B)$$

Donde:

Ma = Masa de agua añadida al matraz (gr.)

Mm = Masa del matraz (gr.)

Mmw = Masa del conjunto matraz, agua y muestra (gr.)

B = Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr.)

Se calcula la gravedad específica Bulk, con la siguiente relación:

$$Ge = \frac{A}{500 - Ma}$$

Donde:

Ge = Gravedad especifica Bulk

A = Masa de la muestra seca (g.)

La gravedad específica saturada con superficie seca se calcula con la siguiente relación:

$$Ges = \frac{B}{500 - Ma}$$

Donde:

Ges = gravedad específica del material saturado con superficie seca.

La gravedad específica aparente se calcula con la siguiente fórmula:

$$Gea = \frac{A}{500 + A + Mm - Mmw}$$

Donde:

Gea = gravedad específica aparente

Se calcula el porcentaje de absorción con la siguiente relación:

$$Ab = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

Ab = Porcentaje de absorción

B. GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO GRUESO

La gravedad específica Bulk, se calcula con la siguiente relación:

$$Ge = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

$Ge = Gravedad\ específica\ Bulk$

$A = Masa\ de\ la\ muestra\ seca\ (gr.)$

$B = Masa\ de\ la\ muestra\ saturada\ con\ superficie\ seca\ (gr.)$

$C = Masa\ de\ la\ muestra\ sumergida\ en\ el\ agua\ (gr.)$

La gravedad específica saturada con superficie seca se calcula con la siguiente fórmula:

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

Donde:

$Ges = gravedad\ específica\ del\ material\ saturado\ con\ superficie\ seca.$

La gravedad específica aparente, se calcula con la siguiente relación:

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

Donde:

$Gea = Gravedad\ específica\ aparente$

Se calcula los valores de densidad relativa promedio con la siguiente expresión:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100 * G_1} + \frac{P_2}{100 * G_2} + \frac{P_n}{100 * G_n}}$$

Donde:

$G = densidad\ promedio\ o\ densidad\ relativa\ (gravedad\ específica)$

$G1, G2, .. Gn = densidad\ promedio\ apropiada\ para\ cada\ tamaño$

$de\ fracción\ dependiendo\ el\ tipo\ de\ densidad\ relativa.$

$P1, P2, \ldots . Pn = porcentaje\ en\ masa\ de\ cada\ tamaño\ de\ fracción$

en la muestra original.

PROCEDIMIENTO

Previo a los procedimientos se preparó la muestra para el ensayo.

1. Lavar una muestra de material granular de 5 kg aproximadamente, de tal tamaño que todas las partículas se retengan en el tamiz No. 4 (4.76 mm).
2. Colocar una muestra en el horno (105 $\pm$ 5°C) durante un período de 24 horas.
3. Sacar la muestra del horno y colocar en un recipiente con agua durante un período de 24 horas.
4. Sacar la muestra del recipiente y secarlo. En laboratorio se utiliza un paño absorbente, lo que permite eliminar la película de agua en la superficie del material.
5. A continuación, determinamos la masa de muestra granular saturada con superficie seca. (Figura 12)



Figura 12. Determinación de la Muestra Saturada con Superficie Seca
Fuente: Albán – Utreras

6. Colocar la muestra saturada con superficie seca en el recipiente del ensayo (cesta de alambre) (Figura 13).



Figura 13. Cesta de Alambre para el Ensayo de Gravedad Especifica del Agregado Grueso
Fuente: Albán – Utreras

7. Sumergir la muestra en agua y se determinar la masa aparente o masa sumergida. (Figura 14)



Figura 14. Determinación de la Masa Aparente de la Muestra Sumergida
Fuente: Albán – Utreras

8. Colocar la muestra en un recipiente y poner en el horno a una temperatura uniforme (110 $\pm$ 5°C) durante un periodo de 24 horas.

9. Determinar la masa de la muestra, cuando se haya enfriado, en un período de 1 a 3 horas o hasta q sea posible su manejo finalmente se determina la masa de la muestra seca.

2.2.7 Absorción de los Agregados

Es la capacidad de los áridos de absorber agua en sus poros internos hasta llegar a saturarse con una superficie seca.

La norma NTE INEN 0694 (2010) define: "Incremento de la masa de un cuerpo solido poroso como resultado de la penetración de un líquido en sus poros permeables" (pág.1).

A. ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Se calcula el porcentaje de absorción con la siguiente relación:

$$Ab = \frac{S - A}{A} * 100$$

Donde:

$Ab = Porcentaje\ de\ absorción$

$A = Masa\ de\ la\ muestra\ seca\ (g.)$

$S = Masa\ de\ la\ muestra\ saturada\ con\ superficie\ seca.$

B. ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

Se calcula el porcentaje de absorción con la siguiente relación:

$$Ab = \frac{S - A}{A} * 100$$

Donde:

$Ab = Porcentaje\ de\ absorción$

Se calcula el valor de absorción promedio con la siguiente expresión:

$$Ab = \frac{P_1 * A_1}{100} + \frac{P_2 * A_2}{100} + \frac{P_n * A_n}{100}$$

Donde:

$Ab = absorción\ promedio\ (\%)$

$A1, A2, \ldots . An = porcentaje\ de\ absorción\ para\ cada\ tamaño\ de\ fracción.$

$P1, P2, \ldots \ldots Pn = porcentajes\ en\ masa\ de\ cada\ tamaño\ de$

$fracción\ presente\ en\ la\ muestra\ original.$

2.2.8 Peso Unitario de los Agregados

El peso específico unitario por definición se entiende como la relación entre el peso de un agregado y el volumen unitario que ocupa el material, según NTE INEN 0858 (2010) define: "Masa de una unidad de volumen correspondiente al árido total, en el cual se incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre las partículas. Expresada en kg/m3" (p.1).

A. PESO UNITARIO DEL MATERIAL COMPACTADO

Se calcula la masa del material compactado, mediante la siguiente expresión:

$$Mc = B - P$$

Donde:

$Mc = Masa\ del\ material\ compactado\ (Kg)$

$B = Masa\ del\ recipiente\ más\ el\ material\ compactado\ (Kg)$

$P = Masa\ del\ recipiente\ (Kg)$

Se determina el peso unitario compactado con la siguiente expresión:

$$Puc = \frac{Mc}{V}$$

Donde:

$Puc = Peso\ unitario\ compactado\ (Kg\ /\ m3)$

$V = Volumen\ del\ recipiente\ (m3)$

PROCEDIMIENTO

PROCEDIMIENTO POR VARILLADO

1. Debemos tomar en cuenta que este procedimiento se aplica para los agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 40 mm o menores al mismo.
2. Colocar el agregado grueso hasta un tercio de la altura del recipiente, se nivela con los dedos la superficie.
3. Compactar con la barra de compactación la superficie, con 25 golpes distribuidos uniformemente. (Figura 15).



Figura 15. Compactación de la Primera Capa para el Ensayo de Peso Unitario
Fuente: Albán – Utreras

4. Colocar los dos tercios del recipiente o molde, se nivela nuevamente y se compacta de la misma forma que el caso anterior. Se debe evitar que la penetración de la varilla tope la capa anterior.

5. Para la última capa, se debe llenar el agregado hasta rebosar y compactar de la misma forma mencionada en el inciso 3, utilizar la barra compactadora para el enrazado del mismo. (Figura 16).



Figura 16. Compactación y Enrazado el Cilindro de Ensayo
Fuente: Albán – Utreras

6. Determinar la masa del molde o recipiente más su contenido.

PROCEDIMIENTO POR SACUDIDAS

1. Debemos tomar en cuenta que este procedimiento solo es aplicable para agregados de tamaño máximo nominal de 40 mm a 100mm.

2. Colocar el agregado grueso hasta un tercio de la altura del recipiente, se nivela con los dedos la superficie

3. Sacudir el recipiente con un tercio del material sobre un piso estable o firme que no presente alteraciones, levantarlo hasta una altura máxima de aproximado de 50 mm del piso (Figura 17). Se repite esta acción 25 veces por cada lado, permitir que el molde golpe el suelo permitiendo que las partículas se acomoden entre sí.



Figura 17. Acomodación de las Partículas en el Cilindro de Ensayo
Fuente: Albán – Utreras

4. Se repite el procedimiento del inciso anterior, debemos sacudir el recipiente con un tercio del material sobre un piso estable o firme que no presente alteraciones, levantarlo hasta una altura máxima de aproximado de 50 mm del piso. Se repite esta acción 25 veces por cada lado, permitir que el molde golpe el suelo permitiendo que las partículas se acomoden entre sí para las dos capas siguientes y finalmente se enraza con la varilla de compactación. (Figura 18)



Figura 18. Compactación del Material
Fuente: Albán – Utreras

5. Determinar la masa del molde con el agregado.

B. PESO UNITARIO DEL MATERIAL SUELTO

Se calcula la masa del material suelto, con la siguiente expresión:

$$Ms = A - P$$

Donde:

$Ms = Masa\ del\ material\ suelto\ (Kg)$

$A = Masa\ del\ molde\ más\ el\ material\ suelto\ (Kg)$

Se determina el peso unitario suelto, con la siguiente expresión:

$$Pus = \frac{Ms}{V}$$

En donde:

$$Pus = Peso\ unitario\ suelto\ (Kg\ /\ m3)$$

PROCEDIMIENTO

1. Debemos tomar en cuenta que este procedimiento es aplicable para agregados de tamaño máximo nominal de 100 mm o menores.
2. Llenar el molde o recipiente hasta rebosar con una pala o cucharon, tomando en cuenta la altura de descarga no sea superior a 5 cm y evitando la segregación de las partículas (Figura 19).

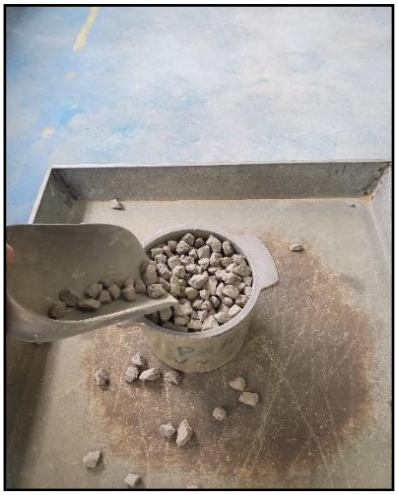


Figura 19. Llenado del Molde con Material
Fuente: Albán – Utreras

3. Enrazar con una regleta o la barra de compactación.

4. Determinar la masa del agregado con el material suelto.

2.2.9 Contenido Orgánico

Este método determina la presencia de impurezas orgánicas en los agregados finos las cuales disminuyen la hidratación del cemento hidráulico u hormigón, para evitar la presencia de impurezas normalmente se aplica el despeje del depósito o un lavado de la arena; el límite permitido de acuerdo a las normas ASTM es de 500 ppm.

Para la visualización del contenido orgánico en la arena, la prueba a realizarse es una prueba colorimétrica con hidróxido de sodio, que detalla la norma ASTM C40 (2019). Se toma una muestra pequeña de arena en un bote de vidrio transparente a continuación se añade la solución de hidróxido de sodio al 3%, la cantidad de hidróxido de solido es mayor al de la arena. Se agita fuertemente de tal manera que la solución y las partículas de arena se mezclen.

PROCEDIMIENTO

1. Colocar en el recipiente, el árido fino seco al aire hasta aproximadamente 130 cm3. (Figura 20)

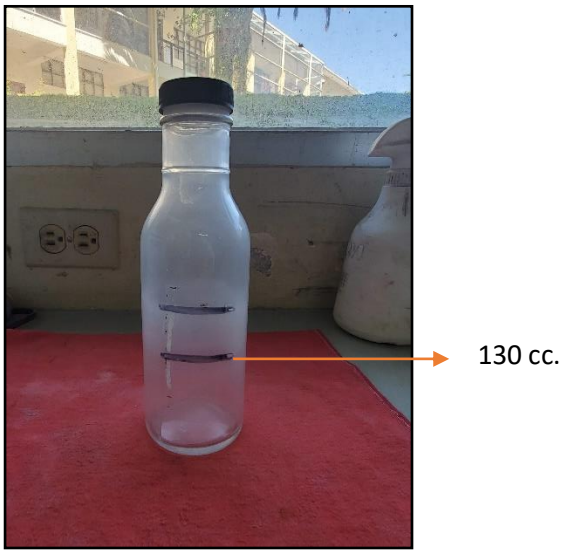


Figura 20. Recipiente para el Ensayo de Contenido Orgánico
Fuente: Albán – Utreras

2. Adicionar la solución de hidróxido de sodio, hasta la señal de 200 cm3 (Figura 21).

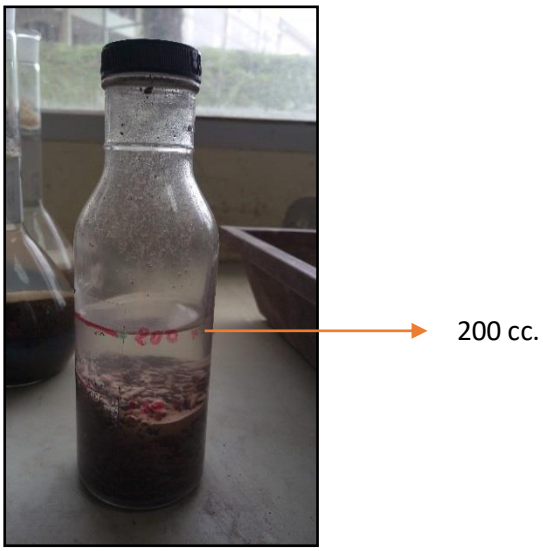


Figura 21. Recipiente con Hidróxido de Sodio hasta 200 cm3
Fuente: Albán – Utreras

3. Tapar la probeta y a continuación agitar enérgicamente, si el líquido ha disminuido llenarlo otra vez hasta la marca; se deja en reposo durante un periodo de 24 horas.

4. Se compara el color del líquido que esta sobre de la arena al final de las 24 horas, con la escala de Gardner (escala de colores estándar). (Figura 22)



Figura 22. Escala de Gardner
Fuente: Albán – Utreras

Comparación de colores entre la solución con arena (luego de 24 horas) y la placa orgánica de colores:

Cuando una muestra sujeta a este procedimiento, produce un color más oscuro que el color estándar del vidrio No. 3 (no debe superar las 500 ppm de contenido orgánico) de la placa orgánica, el agregado fino bajo prueba debe ser considerado que posiblemente contenga impurezas orgánicas perjudiciales. Este ensayo da advertencia para realizar ensayos adicionales antes de aprobar el agregado fino para concreto.

2.2.10 Terrones de Arcilla en los Agregados Naturales

Las partículas generadas por los agregados naturales, afectan de manera directa al concreto u hormigón, la presencia de materiales desmenuzables en los agregados naturales como: terrones de arcilla, madera, partículas blandas, etc. Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 0698 (2010), tiene como objeto "Determinar de forma aproximada el contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los áridos para hormigón" (p1).

A. TERRONES DE ARCILLA EN EL AGREGADO FINO

Se calcula el porcentaje de arcilla en terrones con la siguiente expresión:

$$P = \frac{M - R}{M} * 100$$

Donde:

$P = Porcentaje\ de\ arcilla\ en\ terrones$

$M = Masa\ inicial\ de\ la\ muestra\ (gr.)$

$R = Masa\ seca\ de\ la\ muestra\ retenida\ en\ el\ tamiz\ No.20\ (0{,}84\ mm.)$

$después\ del\ ensayo\ (gr.)$

B. TERRONES DE ARCILLA EN EL AGREGADO GRUESO

El porcentaje de arcilla en terrones para cada fracción se calcula con la siguiente expresión:

$$P = \frac{M - Mr}{M} * 100$$

En donde:

$P = Porcentaje\ de\ arcilla\ en\ terrones\ para\ cada\ fracción$

$M = Masa\ inicial\ de\ la\ muestra\ (g.)$

$R = Masa\ seca\ de\ la\ muestra\ retenida\ en\ el\ tamiz\ de\ lavado$

$después\ del\ ensayo\ (gr.)$

Se calcula el porcentaje parcial de la arcilla en terrones, con la siguiente fórmula:

$$Pp = \frac{\%\ Retenido\ Parcial * P}{100}$$

Donde:

$Pp\ =\ Porcentaje\ parcial\ de\ arcilla\ en\ terrones$

El Porcentaje Retenido Parcial es un valor retenido a la granulometría original.

El porcentaje de arcilla en terrones para el agregado es igual a suma de los porcentajes parciales.

$$Pa\ =\ Pp$$

Donde:

$Pa\ =\ Porcentaje\ de\ arcilla\ en\ terrones\ del\ agregado$

$Pp\ =\ Sumatoria\ de\ los\ porcentajes\ parciales.$

PROCEDIMIENTO

1. Las muestras de agregado grueso se separan por tamaños y cada masa no debe ser menor a lo que indica la Tabla 6.

Tabla 6.Masa Mínima para la muestra de Agregado Grueso

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Masa de la muestra de ensayo, mínimo (g)
4,75 mm a 9,5 mm (No. 4 a 3/8")	1 000
9,5 mm a 1 9,0 mm (3/8" a 3/4")	2 000
19,0 mm a 37,5 mm (3/4" a 1 1/2")	3 000
Sobre 37,5 mm (1 1/2")	5 000

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 0698, 2010)

2. Determinar la masa de la muestra en cada fracción que se realizara el ensayo.

3. Colocar una capa delgada de la muestra en el fondo del recipiente y llenar de agua hasta que esté completamente sumergida todo el agregado. (Figura 23)



Figura 23. Capa Delgada de Agua en el Recipiente
Fuente: Albán – Utreras

4. Dejar en agua durante un período de 24 horas, para que todas las partículas de arcilla que se encuentran alrededor, se vuelvan blandas, con los dedos pulgar e índice hacer rodar y apretar con el objeto de disgregar las partículas externas. (Figura 24)



Figura 24. Disgregación de las Partículas Externas
Fuente: Albán – Utreras

5. Cuando se haya disgregado las partículas de arcilla visibles, se lava la muestra, utilizando las mallas mostradas en la Tabla 7.

Tabla 7. Tamiz de Lavado

Tamaño de las partículas que forman la muestra de ensayo	Tamaño del tamiz para remover los residuos de terrones de arcilla y partículas desmenuzables
Árido fino (retenido sobre el tamiz de 1,18 mm (No. 16))	850 um (No. 20)
4,75 mm a 9,5 mm (No. 4 a 3/4")	2,36 mm (No. 8)
9,5 mm a 19,0 mm (3/8" a 3/4")	4,75 mm (No. 4)
19,0 mm a 37,5 mm (3/4" a 1 1/2")	4,75 mm (No. 4)
Sobre 37,5 mm (1 1/2")	4,75 mm (No. 4)

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 0698, 2010)

6. Retirar cada partícula cuidadosamente de cada tamiz y colocar en el horno a una temperatura 105 ± 5°C durante un periodo de 24 horas.

7. Dejar que se enfríe y determinar la masa de la muestra seca.

2.2.11 Desgaste del Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles

Este método presenta el procedimiento a seguir para realizar el desgaste del material pétreo, el ensayo a desgaste muestra diferentes alternativas dependiendo del tamaño máximo nominal para material grueso superior a 19 mm (3/4") y agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1½").

A este ensayo se lo puede tomar o considerar como un indicador de calidad, al comparar entre diferentes yacimientos mineralógicos (fuente de agregados pétreos). A su vez los resultados no indican un comportamiento valido, se debe determinar mediante otros ensayos la calidad relativa del material pétreo.

Este análisis determina la pérdida de masa de agregados minerales con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor de acero giratorio que contiene 12 esferas de acero. A medida que el tambor gira, una plataforma recoge la muestra y las esferas de acero, elevándolas hasta que caen en el lado opuesto del tambor, lo que crea un efecto de impacto y trituración. El contenido gira colectivamente con el tambor, en una acción de molido, hasta que la

plataforma recoja nuevamente la muestra y las esferas de acero, y se repite el ciclo. Después de una cantidad específica de revoluciones, el contenido del tambor se retira y la porción de árido se tamiza para medir la degradación como porcentaje de pérdida. (INEN 0860, 2011, p1) (Figura 25)

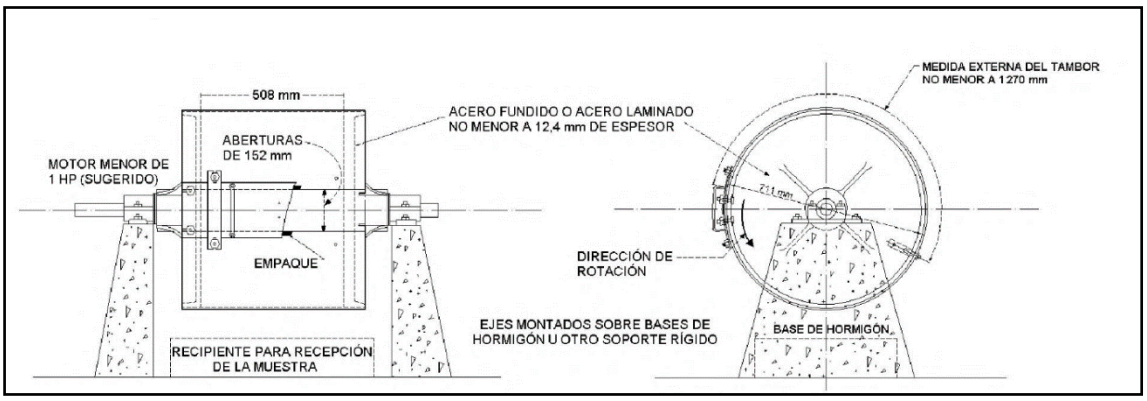


Figura 25. Elementos de la Máquina de los Ángeles
Fuente: Norma Técnica Ecuatoria (NTE Inen 860, 2011)

Con la siguiente expresión, se determina la masa de material que pasa el tamiz No. 12

$$C = A - B$$

En donde:

$C = Material\ que\ pasa\ el\ tamiz\ No. 12\ (gr.)$

$A = Masa\ inicial\ de\ la\ muestra\ (gr.)$

$B = Masa\ sostenida\ en\ el\ tamiz\ No. 12\ (gr.)$

El porcentaje de desgaste del agregado, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\%\ de\ desgaste = \frac{C}{A} * 100$$

PROCEDIMIENTO

1. Lavar la muestra y dejar en el horno durante un período de 24 horas a temperatura constante 105 ± 5°C, la muestra que se vaya a ensayar debe estar en una de las gradaciones dadas en la Tabla 7.

Tabla 8. Gradaciones para las Muestras a Ensayar

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ±10	2 500 ±10	---	---
12,5	9,5	1 250 ±10	2 500 ±10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ±10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ±10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ±10
	Total	5 000 ±10	5 000 ±10	5 000 ±10	5 000 ±10

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 0860, 2011)

2. Según la gradación que se presente la muestra, se elige el número de esferas para el ensayo, debe ser igual a la Tabla 8. (Figura 27)

Tabla 9. Masa para el Ensayo de Abrasión

GRADACION	*NUMERO DE ESFERAS*	*MASA DE LA CARGA (gr)*
A	*12*	*5.000 ± 25*
B	*11*	*4.584 ± 25*
C	*8*	*1.320 ± 25*
D	*6*	*2.500 ± 25*

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 0860, 2011)



Figura 26. Esferas para el Ensayo de la Máquina de los Ángeles
Fuente: Albán – Utreras

3. Determinar la masa inicial total de la muestra que va a ser sometida al ensayo.

4. Colocar el agregado y las esferas para el ensayo en el interior de la máquina de los Ángeles. (Figura 27)



Figura 27. Máquina de los Ángeles
Fuente: Albán – Utreras

5. Colocar en el contador el número de revoluciones (500 revoluciones), de tal manera que pare al final de esta acción. (Figura 28) La máquina gira a velocidad uniforme entre 30 y 33 rpm.



Figura 28. Contador de Número de Revoluciones
Fuente: Albán – Utreras

6. Después del número dado de revoluciones colocar el material en el tamiz de abertura 1.7 mm (No. 12) para ser lavado. (Figura 29)



Figura 29. Lavado del Material
Fuente: Albán – Utreras

7. A continuación, el material retenido en el tamiz No. 12 se coloca en un recipiente y se lo deja secar en el horno a una temperatura uniforme105 ± 5°C por un período de 24 horas.

8. Finalmente determinar la masa del material seco retenido en el tamiz de abertura 1.7 mm (No. 12).

2.2.12 Equivalente de Arena

El equivalente de arena se define como la cantidad de material fino suspendido en una probeta graduada en altura, sometida a solución para el ensayo, en relación a la altura que alcanza las partículas de material arcilloso en la misma probeta de ensayo expresado en porcentaje. La ASTM D2419 (2014) lo define como:

> Un volumen medido de suelo o agregado fino y una pequeña cantidad de solución de floculación se vierte en un cilindro de plástico graduado y se agitan para aflojar las partículas de arcilla de las partículas de arena en el ensayo. (pág.2)

Este ensayo de laboratorio tiene como objetivo determinar el tamaño o magnitud relativa en proporción de: las impurezas o partículas de arcilla en el agregado fino o en los suelos. Evalúa la presencia de material arcilloso en la arena, esto puede afectar de forma negativa la resistencia del hormigón como la durabilidad. La ASTM D2419 (2014) asegura: "El propósito de este método de prueba es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas del tamaño de arcilla o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4)" (p1).

Con la siguiente expresión, se realiza el cálculo:

$$EQUIV.DE\ ARENA = \frac{SEDIMENTO: LECTURA\ B}{SUSPENSION: LECTURA\ A} * 100$$

A. EQUIVALENTE DE ARENA AGREGADO FINO

PROCEDIMIENTO

1. Medir 88 ml de solución concentrada y colocar en la probeta estándar.
2. Escoger aproximadamente 500 gr de materia fino y colocar una cantidad de material en el envase de 88 ml de capacidad. (Figura 30)



Figura 30. Envase para el Ensayo de Equivalente de Arena del Agregado Fino
Fuente: Albán – Utreras

3. Llenar el envase de 88 ml hasta 5mm de su capacidad. El peso aproximado es 110 gr, peso deseable para la elaboración del ensayo. (Figura 31)



Figura 31. Material a 5 mm de su capacidad
Fuente: Albán – Utreras

4. Colocar la muestra en el horno a temperatura uniforme 105 + 5°C, guardar el material restante. Retirar del horno cuando el peso de la muestra sea constante.
5. Colocar la "Solución Concentrada" en la probeta estándar mientras el material se enfría a temperatura ambiente. Se añade la solución por medio un sifón con un tubo y un irrigador. (Figura 32)



Figura 32. Solución Concentrada
Fuente: Albán – Utreras

6. Colocar en la probeta graduada exactamente 4.0” de solución. (Figura 33)

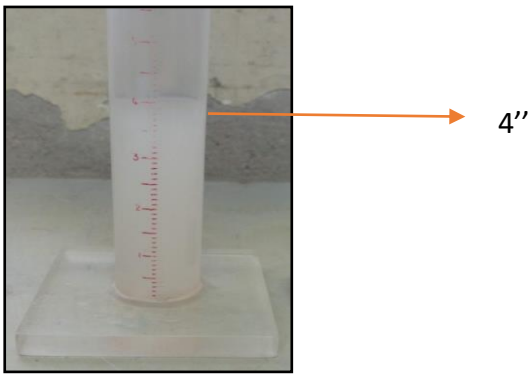


Figura 33. Probeta Graduada con 4.0” de solución
Fuente: Albán – Utreras

7. Colocar el material seco en la probeta estándar utilizando un embudo, y se deja reposar por 10 minutos.
8. Agarrar los extremos de la probeta en cada mano, coloque la probeta en posición horizontal. (Figura 34)



Figura 34. Probeta en Posición Horizontal
Fuente: Albán – Utreras

9. Agitar la probeta a una velocidad constante de 30 ciclos de forma horizontal hasta aproximadamente 20 cm desde el eje transversal en un período de 30 segundos. (Figura 35)

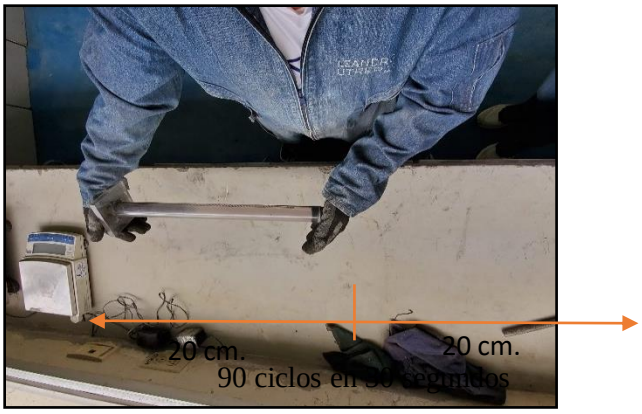


Figura 35. Agitar la Probeta por 30 segundos.
Fuente: Albán – Utreras

10. Introducir el irrigador hasta el fondo de la probeta, con el fin de remover las partículas asentadas en el fondo de la probeta, hacemos girar la probeta para que las partículas finas queden en suspensión en la solución.
11. Retirar el irrigador, el nivel del líquido debe alcanzar la marca de 15 pulgadas mientras se retira el irrigador. (Figura 36)

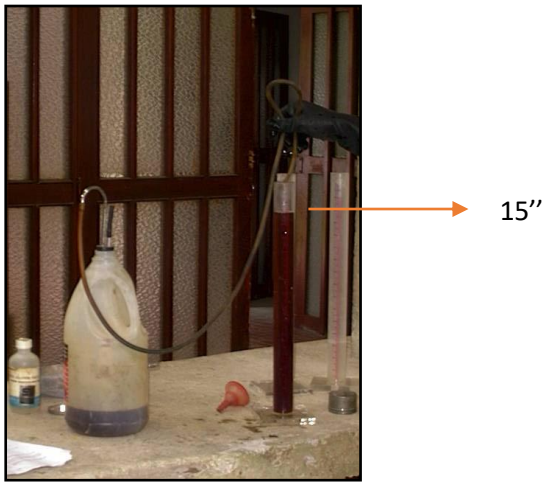


Figura 36. Llenar la Probeta hasta la Marca de 15"
Fuente: Manual de Laboratorio (Lara, 2011)

12. Hacer las lecturas del nivel del material (A y B) en suspensión después de haber dejado el material con la solución en un estado de reposo durante un periodo de 20 minutos.
13. Calcular El equivalente de Arena con las dos lecturas tomadas del ensayo. (Figura 37)



Figura 37. Ensayo de Equivalente de Arena
Fuente: Albán – Utreras

2.2.13 Durabilidad de los Agregados a la Acción del Sulfato de Sodio o Magnesio

Con las siguientes expresiones, se realiza el cálculo:

El porcentaje retenido parcial se calcula con la granulometría original.

$$\%\ \text{Retenido Parcial} = \frac{\text{Masa Retenida Parcial}}{\text{Masa Total de Muestra}} * 100$$

El porcentaje que pasa, se calcula:

$$\%\ \text{Pasa} = \frac{\text{Masa Inicial} - \text{Masa Retenida después del Ensayo}}{\text{Masa Inicial}} * 100$$

El porcentaje de desgaste parcial, se calcula con la siguiente expresión:

$$\%\ \text{Desgaste Parcial} = \frac{\%\ \text{Retenido Parcial} * \ \%\ \text{Pasa}}{100}$$

PROCEDIMIENTO

1. Se sumergen las muestras de agregado en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio por un período de tiempo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas (Foto 38)



Figura 38. Muestras Sumergidas en la Solución de Sulfato
Fuente: (Lara, 2011)

2. Se deben tapar los recipientes que contienen la solución con el objeto de evitar la evaporación y/o la adición accidental de substancias extrañas. (Foto 39)



Figura 39. Cubrir las Muestras
Fuente: (Lara, 2011)

3. Durante el período de inmersión se debe mantener la temperatura a 21° $\pm$ 1°C.

4. Se sacan las muestras de la solución y se secan al horno, hasta que mantengan la masa constante (Foto No. 70). La temperatura de secado debe ser uniforme (105 ± 5°C); en este paso se debe cuidar que las muestras no permanezcan en el horno más tiempo que el necesario, porque se pueden producir fuerzas excesivas de quebrantamiento por consecuencia del exceso de secado.



Figura 40. Muestras en el Horno
Fuente: (Lara, 2011)

5. Se debe continuar con las inmersiones y secados alternativos, hasta completar cinco ciclos de ensayo.

6. Se sacar las muestras de la solución y se lavan cuidadosamente, hasta que no queden restos de la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

7. Se secan las muestras hasta que mantengan la masa constante.

8. Se sacan las muestras del horno y se dejan enfriar.

9. Se tamizan las fracciones independientemente, por el tamiz más fino de las mismas; en el caso del agregado fino, para el grueso, la fracción 1 por el tamiz # 5, la 2 por el 5/16, la 3 por el 5/8, y la 4 por el 1 1/4.

10. Se determinan las masas retenidas en los tamices para cada fracción.

2.3. Arcilla Expandida

"La arcilla es una roca sedimentaria, impermeable y plástica, formada esencialmente por silicatos de aluminio" (Rougeron, 1977, p. 69).

La Acilla expandida o Arlita es un material de origen cerámico con propiedades físicas, mecánicas y químicas que lo hacen apto como material para la construcción. Es un producto fabricado, producido y comercializado por grandes industrias. La materia prima que se utiliza para la elaboración, es la arcilla pura explotada en minas a cielo abierto. La arcilla es almacenada en silos herméticamente cerrados donde son secados y homogeneizados (Hou Huang, Caicedo Chica , & Falconí Pincay , 2009).

Las propiedades de los hormigones livianos utilizando arcilla expandida se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10.Propiedades del Hormigón Liviano con Arcilla Expandida

Tipo de concreto		Densidad aparente de la arcilla expandida (kg/m3)	Densidad seca del concreto (kg/m3)	Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)	Contracción por secado, 10^{-6}	Conductividad térmica (Jm/m2 s°C)
Escoria expandida	Fina	900	1850	21	500	0.69
	Gruesa	650	2100	41	600	0.79
Arcilla expandida de horno de calcinación	Fina	700	1200	17	600	0.38
	Gruesa	400	1300	20	700	0.4
Arcilla expandida de cordón de sinterización	Gruesa	400	1500	20	---	0.57
			1600	35	---	---
			1750	50	---	---
			1900*	70	---	---
Arcilla expandida de filamento de toba	Fina	1050	1500	28	600	0.55
	Gruesa	650	1600	35	750	0.61

Fuente: Tecnología del Concreto (Neville, 1999)

Es un material aislante de origen cerámico, producido industrialmente.

2.3.1 Características

- Presenta una alta porosidad.
- Material duro.
- Color marrón claro.

- Forma redondeada.
- El peso específico puede variar aproximadamente entre 270 y 600 kg/m3.
- Superficie rugosa.
- Granulometrías variables (en mm): (0-3) – (3-10) – (10-20) – (20-40)
- Es un material aislante continuo, sin puentes térmicos.
- Es resistente al fuego.
- Soporta la exposición al sol sin fundirse ni deteriorarse. (Valdéz et al., s.f, pág.7)



Figura 41. Arcilla Expandida
Fuente: Albán – Utreras

2.3.2 Origen

El granulado de arcilla expansiva apareció en el comercio norteamericano bajo el nombre de HAYDITE, se empleó al principio como árido ligero para la construcción de buques de hormigón, como consecuencia de la falta de acero una vez ya acabada la 1era guerra mundial. Después de diversas construcciones navales eficaces, pronto se unió en su consumo la industria americana de la construcción. (Schmidt, 1970, pág. 463)

2.3.3 Fabricación

La fabricación de áridos de arcilla expandida se remonta a 1963. Consiste en producir en hilera, a partir de la pasta de arcilla, pequeños cilindros, llamados tiritas, que se secan en secadores rotatorios, donde, al girar, toman forma esférica. Los áridos pasan luego a un horno rotatorio, dotado en un extremo de un quemador; el paso por el quemador provoca un grujido de la superficie que se reblandece, a la vez que se desprenden gases en el interior del material, que se hincha. Pasan después a un refrigerador donde se recuperan las calorías. Claro es que se han de emplear arcillas que puedan expansionarse (arcillas ferruginosas, por ejemplo). (Chemillier, 1980, p. 68)

Se fabrica a partir de arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto. Tras un primer proceso de desbaste, esta arcilla pura se almacena en silos cerrados para su homogeneización y secado. Una vez seca, la arcilla se muele hasta obtener un polvo impalpable denominado crudo. (Valdéz et al., s.f.).

Para la producción de tal agregado (arcilla expandida), la arcilla debe ser ablandada a una temperatura que pueda alcanzarse y mantenerse económicamente, y al mismo tiempo debe contener componentes minerales que produzcan gases a esa temperatura. Si tales componentes minerales no se encuentran presentes en forma natural en la arcilla, pueden ser incorporados a ella durante la fabricación. (Short y Kinniburgh, 1967, p.137).



Figura 42. Proceso de Fabricación de Arcilla Expandida
Fuente: Weber, Proveedor de arcilla

2.3.4 Resistencia Química

La arlita presenta características químicas como la resistencia a los combustibles en base de alcohol y petróleo.

También, es totalmente estable a ciclos de congelación y descongelación, en condiciones normales de frío no sufre daños ni cambios en sus propiedades durante la congelación ni muestra reducción de durabilidad o de propiedades mecánicas. Debido a su capacidad para soportar altas temperaturas la arlita pertenece a la clase de resistencia al fuego "A1 – incombustible". (Weber, 2017, p.13)

2.3.5 Aplicaciones

Los áridos de arcilla expandida se emplean con cemento para formar hormigones ligeros, con mejores condiciones de aislamiento térmico. Las actuales investigaciones tienden a resolver los problemas planteados por la resistencia mecánica todavía insuficiente de dichos áridos, por el hecho de su poca densidad. (Chemillier, 1980, p. 68)

Las aplicaciones que se le dieron a la arcilla expandida (arlita) en este tema de tesis fueron principalmente para alivianar el hormigón aumentando un porcentaje de arcilla a la mezcla y a su vez reduciendo un porcentaje de arena a la mezcla, con lo cual el peso

específico del hormigón disminuye dependiendo de las proporciones de arcilla que se están añadiendo, pero no solo están sujetas al alivianamiento del hormigón, sino que también tiene varios usos entre los cuales están:

- Material de relleno para mortero de revestimiento.
- Capas aislantes intermedias en la construcción de carreteras.
- Insonorización de edificaciones antiguas.
- Hormigón monógrano para objetos de aislamiento.
- Hormigón ligero para construcción de edificios elevados, cubiertas, puentes, etc.
- Jardinería en cultivo con tierra sirve para mejorar la retención de humedad, brindar mejor oxigenación a las raíces. (Schmidt, 1970, pág. 474)

2.3.6 Localización en Ecuador

Lastimosamente por la falta de investigación, no existe una empresa que fabrique este producto en Ecuador y que tampoco se ha utilizado en construcción de edificaciones. Al ser un producto industrializado es importado para fines de jardinería y agricultura por su propiedad de almacenamiento de agua.

2.3.7 Ensayo de Granulometría

Tabla 11. Ensayo de Granulometría de la Arcilla Expandida

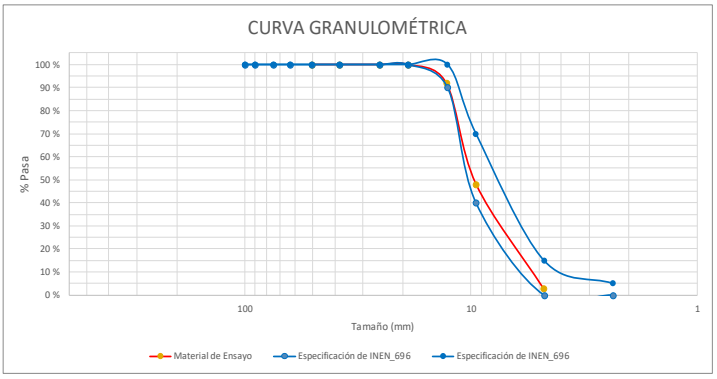
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO (ARLITA)			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 117	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

MASA INICIAL DE LA MUESTRA: 6500 gr.
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 1 /2"

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO (ARLITA)					
MALLA No.	**ABERTURA (mm)**	**MASA RETENIDA PARCIAL**	**MASA RETENIDA ACUMULADA**	**PORCENTAJE RETENIDO (%)**	**PORCENTAJE QUE PASA (%)**
4"	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3 1/2"	90,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	75,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,70	510,00	510,00	4,95	95,05
3/8"	9,51	2860,00	3370,00	32,72	67,28
No.4	4,76	2940,00	6310,00	61,26	38,74
Pasa N° 4		187	187		
SUMA		6497	6497		
		MODULO DE FINURA:		2,21	



OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.3.8 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción

Tabla 12. Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de la Arcilla Expandida

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO (ARLITA)			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 127	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

Gravedad específica seca =A / (B - C)

Gravedad específica saturada con superficie seca = B / (B - C)

Gravedad específica aparente = A / (A - C)

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	886,60	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	1000,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERF	C =	579,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	**Ge =**	**0,56**	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SE	**Ges =**	**0,63**	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	**Gea =**	**0,60**	
PORCENTAJE DE ABSORCION	**Ab =**	**12,8**	**%**

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.4. Agregado Fino

2.4.1 Caracterización de los Materiales: Ensayos

2.4.2 Ensayo de Granulometría

Tabla 13. Ensayo de Granulometría del Agregado Fino

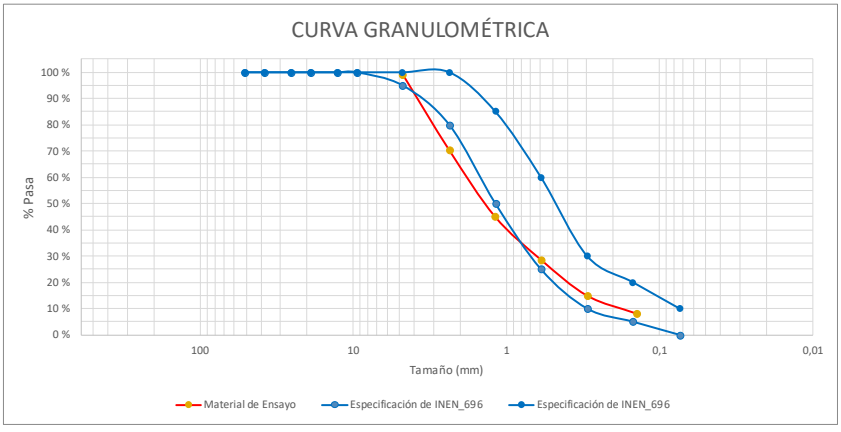
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

GRANULOMETRIA POR MALLAS DEL AGREGADO FINO			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

MASA INICIAL DE LA MUESTRA: 6500 gr.

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO					
MALLA No.	**ABERTURA (mm)**	**MASA RETENIDA PARCIAL**	**MASA RETENIDA ACUMULADA**	**PORCENTAJE RETENIDO (%)**	**PORCENTAJE QUE PASA (%)**
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,70	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,51	0,00	0,00	0,00	100,00
No.4	4,76	7,90	7,90	0,78	99,22
No.8	2,36	297,90	305,80	30,33	69,67
No.16	1,18	259,70	565,50	56,09	43,91
No.30	0,60	169,90	735,40	72,94	27,06
No.50	0,30	107,10	842,50	83,56	16,44
No.100	0,15	113,40	955,90	94,81	5,19
Pasa No. 100		52,30	52,30		
SUMA		1008,20	1008,20		
		MODULO DE FINURA:		3,39	



OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.4.3 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción

Tabla 14.Ensayo de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 128	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

Gravedad específica seca =A / (B + S - C)

Gravedad específica saturada con superficie seca = S / (B + S - C)

Gravedad específica aparente = A / (B + A - C)

MASA DEL MATRAZ	Mm =	169,20	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B =	669,20	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	959,20	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	500,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A=	472,60	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	**Ge =**	**2,25**	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	**Ges =**	**2,38**	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	**Gea =**	**2,59**	
PORCENTAJE DE ABSORCION	**Ab =**	**4,8**	**%**

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.4.4 Ensayo de Peso Unitario de los Agregados

Tabla 15. Ensayo de Peso Unitario del Agregado Fino

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 29	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

MASA MOLDE		P = 1655,0	gr
VOLUMEN MOLDE		V = 2735,0	cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO		A = 5810,0	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO		B = 6195,0	gr
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P =	4155,0	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P =	4540,0	gr
PESO UNITARIO SUELTO	**Ms / V =**	**1519**	**kg / m^3**
PESO UNITARIO COMPACTO	**Mc / V =**	**1660**	**kg / m^3**

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.4.5 Ensayo de Contenido Orgánico de la Arena

Tabla 16. Ensayo de Contenido Orgánico de la Arena

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

CONTENIDO ORGÁNICO DE LA ARENA			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 40 - 99	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO



OBSERVACIONES:

En vista que la muestra es más clara que el patrón número 1, se considera, la arena adecuada para la elaboración del Hormigón, desde el punto de vista orgánico.

Elaborado por: Albán – Utreras

2.4.6 Ensayo Material Fino que Pasa el Tamiz N° 200

Tabla 17. Ensayo Material Fino que Pasa el Tamiz N° 200

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ No. 200			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

Porcentaje de material que pasa el tamiz No. 200 = (W-R) / W*100

MASA INICIAL DE LA MUESTRA SECA	W =	500,00 gr
MASA DE MATERIAL RETENIDA EN EL TAMIZ N° 200	R =	439,10 gr
PORCENTAJE DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ NO. 200	**P =**	**12,18 %**

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.4.7 Ensayo de Terrones de Arcilla en el Agregado Fino

Tabla 18. Ensayo de Terrones de Arcilla en el Agregado Fino

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

TERRONES DE ARCILLA EN EL AGREGADO FINO

PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 142	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

Terrones de Arcilla = (M - R) / M *100

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	M =	100,00	gr
MASA SECA DE LA MUESTRA RETENIDA EN EL TAMIZ NO.20 (0,84 MM.) DESPUÉS	R =	98,80	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCILLA	**P =**	**1,20**	**%**

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.4.8 Ensayo de Equivalente De Arena

Tabla 19. Ensayo Equivalente de Arena

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

EQUIVALENTE DE ARENA			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	AASHTO T 176	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

Equialente de Arena =A / (B + S - C)

LECTURA A:	A=	3,4	gr.
LECTURA B:	B=	4,1	gr
EQUIVALENTE DE ARENA	C=	83	**%**

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.4.9 Ensayo de Durabilidad de los Agregados a la acción del Sulfato de Sodio

Tabla 20.Durabilidad del Agregado Fino a la acción del Sulfato de Sodio

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

DURABILIDAD DEL AGREGADO FINO A LA ACCION DEL SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	AASHTO C 88	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

Porcentaje Retenido Parcial = (Masa Retenido Parcial / Masa Total de la Mestra) * 100

Porcentaje que Pasa el Tamiz más Fino = (Masa Inicial - Masa Retenida despues del Ensayo)/ Masa Inicial * 100

Porcentaje de Desgaste Parcial = (% Retenido Parcial / % Pasa Tamiz mas Fino) * 100

	No 8	No. 16	No. 30	No.50
MASA INICIAL	298,90	259,70	169,90	107,10
MASA DESPUES DE ENSAYO	260,20	238,70	145,60	97,50
% RETENIDO PARCIAL DEL AGRREGADO	34	29,6	19,4	16,1
% QUE PASA DESPUES DEL ENSAYO	12,95	8,09	14,3	8,96
% DE DESGASTE PARCIAL	4,10	2,19	2,27	1,24
% TOTAL	9,80			

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.5. Agregado Grueso

2.5.1 Caracterización de los Materiales: Ensayos

2.5.2 Ensayo de Granulometría

Tabla 21. Ensayo de Granulometría del Agregado Grueso

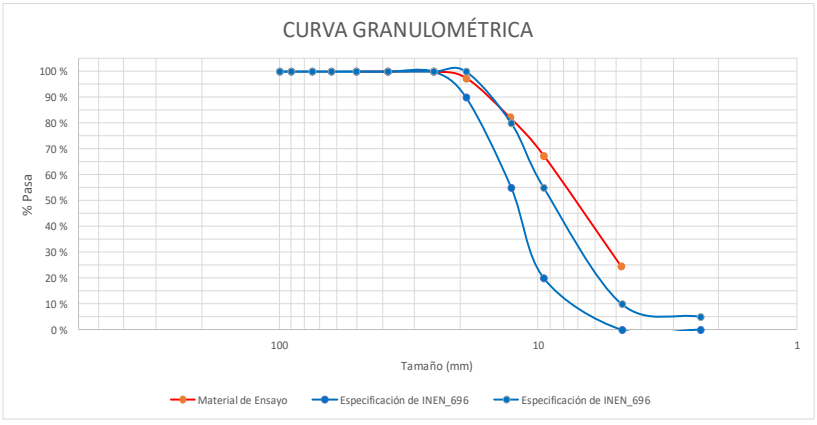
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

GRANULOMETRIA POR MALLAS DEL AGREGADO GRUESO			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 136	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

MASA INICIAL DE LA MUESTRA: 10301 gr.
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 3 /4"

GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO					
MALLA No.	**ABERTURA (mm)**	**MASA RETENIDA PARCIAL**	**MASA RETENIDA ACUMULADA**	**PORCENTAJE RETENIDO (%)**	**PORCENTAJE QUE PASA (%)**
4"	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3 1/2"	90,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3"	75,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	253,00	253,00	2,46	97,54
1/2"	12,70	1562,60	1815,60	17,63	82,37
3/8"	9,51	1534,30	3349,90	32,52	67,48
No.4	4,76	4400,00	7749,90	75,23	24,77
Pasa N° 4		2551	2551		
SUMA		10301	10301		
		MODULO DE FINURA:		2,78	



OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.5.3 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso

Tabla 22. Ensayo de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**TESISTAS:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 127	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

Gravedad específica seca =A / (B - C)

Gravedad específica saturada con superficie seca = B / (B - C)

Gravedad específica aparente = A / (A - C)

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	3775,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	3885,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2379,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	**Ge =**	**2,51**	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	**Ges =**	**2,58**	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	**Gea =**	**2,70**	
PORCENTAJE DE ABSORCION	**Ab =**	**2,9**	**%**

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.5.4 Ensayo de Peso Unitario del Agregado Grueso

Tabla 23.Ensayo de Peso Unitario del Agregado Grueso

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 29	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

MASA MOLDE	P = 3814,0	gr
VOLUMEN MOLDE	V = 6878,0	cm^3
MASA MOLDE + MATERIAL SUELTO	A = 13275,0	gr
MASA MOLDE + MATERIAL COMPACTO	B = 14080,0	gr
MASA DEL MATERIAL SUELTO	Ms = A - P = 9461,0	gr
MASA DEL MATERIAL COMPACTO	Mc = B - P = 10266,0	gr
PESO UNITARIO SUELTO	**Ms / V = 1376**	**kg / m^3**
PESO UNITARIO COMPACTO	**Mc / V = 1493**	**kg / m^3**

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.5.5 Ensayo de Terrones de Arcilla del Agregado Grueso

Tabla 24. Ensayo de Terrones de Arcilla del Agregado Grueso

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

TERRONES DE ARCILLA EN EL AGREGADO GRUESO			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 142	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

Porcentaje de Terrones de Arcilla = (M - Mr) / M *100

TAMICES		**3/8 - 4**	**3/4 - 3/8**	
MASA INICIAL DE LA MUESTRA	M =	1000,00	2000	gr
MASA SECA DE LA MUESTRA RETENIDA EN EL TAMIZ NO.20 (0,84 MM.) DESPUÉS	Mr =	995,00	1955,00	gr
PORCENTAJE DE TERRONES DE ARCI	**P =**	**0,50**	**2,25**	**%**
PORCENTAJE DE DESGASTE PARCIAL		**0,90**	**0,28**	
PORCENTAJE TOTAL		**1,18**		

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.5.6 Ensayo de Desgaste del Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles

Tabla 25. Ensayo de Desgaste del Agregado Grueso en la Máquina de los Ángeles

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

ABRASIÓN E IMPÁCTO POR LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES			
PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	ASTM C 131	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

TIPO DE GRADACION B

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A= 4975	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ Nº 12	B= 3595	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ Nº 12	C= 1380	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	**D= 28**	**%**

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.5.7 Ensayo de Durabilidad del Agregados a la Acción del Sulfato de Sodio

Tabla 26. Ensayo de Durabilidad del Agregado Grueso a la Acción del Sulfato de Sodio

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

DURABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO A LA ACCION DEL SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO

PROYECTO:	ELABORACIÓN DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ALIVIANADO USANDO ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA)	**AUTORES:**	JORGE LUIS ALBAN ISRAEL UTRERAS
		REVISADO POR:	ING. LAURO LARA
NORMA ENSAYO:	AASHTO C 88	**CANTERA:**	HOLCIM PIFO
LOCALIZACIÓN:	PIFO		

INFORME DE ENSAYO

Porcentaje Retenido Parcial = (Masa Retenido Parcial / Masa Total de la Mestra) * 100

Porcentaje que Pasa el Tamiz más Fino = (Masa Inicial - Masa Retenida despues del Ensayo)/ Masa Inicial * 100

Porcentaje de Desgaste Parcial = (% Retenido Parcial / % Pasa Tamiz mas Fino) * 100

	1 1/2" - 3/4"	3/4" - 3/8"	/8" - N° 4
MASA INICIAL	499,40	332,20	321,40
MASA DESPUES DE ENSAYO	468,10	300,20	296,40
% RETENIDO PARCIAL DEL AGRREGADO	3,26	69,96	56,78
% QUE PASA DESPUES DEL ENSAYO	6,27	9,63	7,78
% DE DESGASTE PARCIAL	0,20	3,85	4,42
% TOTAL	8,47		

OBSERVACIONES:

Elaborado por: Albán – Utreras

2.6. Cementantes

En general, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un aglomerante (materiales cementantes incluyendo cemento Portland hidráulico y eventualmente adiciones), un material de relleno (agregado o áridos), agua y aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (Guzmán, 2011, p. 1)

El principal componente del concreto es el material cementante, que ocupa entre el 7% y el 15% del volumen de la mezcla y tiene propiedades de adherencia y cohesión que proveen buena resistencia a la compresión. El material cementante incluye cemento Portland hidráulico y, de acuerdo a la tendencia actual, con creciente frecuencia también incluye adiciones cementantes; estas últimas pueden estar incluidas en el cemento (cemento adicionado) o se pueden añadir directamente en la mezcla como un componente más. (Guzmán, 2011, p. 1)

2.6.1 Cemento Portland

"Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua" (Kosmatka et al., 2004, p.25).

"Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta" (Kosmatka et al., 2004, p.25).

2.6.2 Tipos de cementos portland

"Se fabrican diferentes tipos de cemento portland para satisfacer a varios requisitos físicos y químicos para aplicaciones específicas" (Kosmatka et al., 2004, p.25).

Las ASTM C 150 designa ocho tipos de cementos:

Tabla 27. Tipos de cementos según la norma ASTM

Tipos de cementos	
Tipo I	Normal
Tipo IA	Normal con aire incluido
Tipo II	Moderada resitancia a los sulfatos
Tipo IIA	Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido
Tipo III	Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)
Tipo IIIA	Alta resistencia inicial con aire incluido
Tipo IV	Bajo calor de hidratación
Tipo V	Alta resistencia a los sulfatos

Fuente: Diseño y control de mezclas PCA (Kosmatka et al., 2004)

2.6.3 Cementos que se Usan en Nuestro País

El sector de la construcción en Ecuador se caracteriza principalmente por el uso de cementos que son de gran importancia para construcciones en general.

Existen varios tipos de cementos puzolánicos comercializados en nuestro país, pero los más usados son el cemento Holcim y el cemento Selvalegre:

Cemento Selvalegre



Figura 43. Cemento Selvalegre
Fuente: UNACEM

"Es un cemento Portland Puzolánico tipo IP, diseñado para construcciones de hormigón en general. Cumple con los requerimientos de la norma NTE INEN 490 (Norma técnica ecuatoriana) y ASTM C 595" (UNACEM, 2018, p. 1).

Cemento Holcim



Figura 44. Cemento Holcim
Fuente: Holcim Ecuador S.A

"El cemento Holcim Fuerte tipo GU está diseñado para todo tipo de construcción en general, contando como principales características su resistencia, durabilidad y destacado desempeño que cumple y excede los estándares de la norma NTE INEN 2380" (Holcim Ecuador, 2016, p. 2).

2.6.4 Cementos Hidráulicos

"Los cementos hidráulicos se fraguan y se endurecen por su reacción química con el agua. También se mantienen duros y estables bajo el agua" (Kosmatka et al., 2004, p.37).

La norma ASTM C1157 presenta 6 tipos de cementos hidraúlicos:

Tabla 28. Cementos hidráulicos según la norma ASTM

Tipos de cementos hidráulicos.	
Tipo GU	Uso general
Tipo HE	Alta resistencia inicial
Tipo MS	Moderada resistencia a los sulfatos
Tipo HS	Alta resistencia a los sulfatos
Tipo MH	Moderado calor de hidratación
Tipo LH	Bajo calor de hidratación

Fuente: Diseño y control de mezclas PCA (Kosmatka et al., 2004)

Para ver la calidad de los cementos se deben realizar los siguientes ensayos basados en las normas INEN y ASTM:

- Consistencia normal del cemento. (INEN 157, ASTM C – 187)
- Densidad del cemento hidráulico. (INEN 156, ASTM C – 188)
- Tiempo de fraguado del cemento por el método VICAT. (INEN 158, ASTM C - 191)
- Tiempo de fraguado del cemento por el método GILLMORE. (INEN 159, ASTM C - 266)
- Gravedad específica del cemento. (ASTM C - 188)
- Método de autoclave. (INEN 200, ASTM C - 151)

2.6.5 Propiedades del Cemento

2.6.5.1 Gravedad específica (ASTM C 188)

Tabla 29. Gravedad específica del cemento (HOLCIM tipo GU)

Muestras	1	2
Masa (g)	64	64
Volumen Inicial (cm3)	0.75	0.8
Volumen Final (cm3)	22.7	22.9
Gravedad Específica	2.92	2.89
Promedio (g/cm3)	2.91	

Elaborado por: Albán – Utreras

2.6.5.2 Finura Blaine (ASTM C 204)

Tabla 30. Finura Blaine (Cemento HOLCIM tipo GU)

Muestra	Finura (m2 /kg)	Requisitos NTE INEN 196 (260-430)
1	315.8	Cumple
2	316.2	Cumple
Promedio	316	Cumple

Elaborado por: Albán – Utreras

2.6.5.3 Tiempo de fraguado Vicat (ASTM C 1005)

Tabla 31. Tiempo de fraguado Vicat (Cemento HOLCIM tipo GU)

Agua (gr) 182 Cemento (gr) 650

Descripción	Hora	Comprobación según INEN 187 (45-420 min)
Hora de inicio del ensayo	9:00:00	0
Tiempo de fraguado inicial (min)	10:57:00	117
Tiempo de fraguado final (min)	16:00:00	420

Elaborado por: Albán – Utreras

2.6.5.4 Expansión en el Autoclave (ASTM C 151)

Cemento (gr)	655
Agua (gr)	177
Muestra 1 (mm)	252
Muestra 2 (mm)	252.5

Tabla 32. Expansión en el Autoclave (Cemento HOLCIM tipo GU)

Muestra	Lado	Lectura inicial	Lectura final	Expansión (%)	Promedio Expansión (%)	Límite máximo según ASTM C 595 (%)
1	1	-0,259	-0,07	0,0740	0.076	0.8
	2	-0.27	-0.08	0.0768		
	3	-0.271	-0.07	0.0776		
	4	-0.261	-0.07	0.0752		
2	1	-0.666	-0.48	0.0736		
	2	-0.667	-0.48	0.0748		
	3	-0.669	-0.48	0.0764		
	4	-0.671	-0.48	0.0795		

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 33. Resumen de los ensayos realizados en el cemento.

ENSAYO	OBTENIDO	OBSERVACION
Gravedad Específica (g/cm3)	2.91	-
Finura Blaine (m2 /kg)	316	Cumple
Tiempo de fraguado Vicat	420	Cumple
Expansión en el Autoclave	0.076	Cumple

Elaborado por: Albán – Utreras

3 CAPITULO III: DISEÑO Y ENSAYO DE HORMIGÓN ALIVIANADO

3.1. Dosificación para la Muestra Original

Una vez realizado todos los ensayos para los agregados, se procedió a realizar las dosificaciones adecuadas para las diferentes relaciones agua - cemento del hormigón. Para esto se usó el método del ACI debido a su facilidad de aplicación.

Para el diseño de la mezcla del hormigón se utilizaron las siguientes dosificaciones:

3.1.1 Dosificación para una A/C = 0.53

Tabla 34. Dosificación para una A/C = 0.53

Porcentajes de absorción y humedades del material (PIFO)			
% abs.fino	4,80	**Ga(agr.)**	2,565
% ab.grueso	2,25	**Gc=**	2,90
% hn.fino	0,65	**TMN**	19,1 mm
% hn.grueso	0,25	**Agua neta**	210 kg/m3

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación agua / cemento

Para la relación A/C se tomó un valor interpolado de 0.53 de acuerdo a las tablas proporcionadas por el Ing. Lauro Lara en base a su resistencia:

> "La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo durante 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (AASHTO T 23). La dependencia asume el agregado con un tamaño máximo nominal de 19 a 25 mm" (Kosmatka et al., 2004, p.187).

Tabla 35. Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm2 (Mpa)	Relación agua - material cementante en masa	
	Cemento Portland (ACI 211,1)	Cemento Modificado IP, (Ing. Lauro Lara)
400 (40)	0,43	0,33
350 (35)	0,48	0,38
300 (30)	0,55	0,43
250 (25)	0,62	0,5
200 (20)	0,7	0,58
150 (15)	0,8	0,67

Fuente: ACI 211.1; Diseño de mezclas de concreto - IMCYC

Para los agregados se utilizaron las siguientes proporciones:

Agregado fino = 48% Agregado grueso = 52%

Reestimación de mezcla

Se procedió primeramente a dosificar para dos cilindros ya que esto nos servirá para poder sacar correcciones de la mezcla en base a sus ensayos.

Tabla 36. Dosificación para Reestimación de Muestra

0,02 m3 (Volumen de 2 cilindros)			
Resumen	**kg/m3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	257	5148	5,15
Cemento	396	7925	7,92
Arena	749	14979	14,98
Ripio	828	16565	16,57
Σ	2230		

Elaborado por: Albán – Utreras

Para la dosificación adecuada, primeramente se tomó el asentamiento del hormigón mediante el cono de Abrams y luego se procedió a sacar el peso unitario.

Tabla 37. Reestimación de Muestra

Reestimacion de mezcla kg/m3			
Arena seca utilizada	744,09	**Asentamiento**	11 cm
Ripio seco utilizado	826,20	**Agua neta**	210
% fino	48	**Agua neta reestimada**	205
% grueso	52	**Puh(real)**	2246,74

Elaborado por: Albán – Utreras

Una vez hecho esto, se procedió ahora si a calcular la dosificación definitiva para muestras de 8 cilindros mediante los nuevos datos obtenidos:

Tabla 38. Dosificación Final

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
Resumen	**kg/m3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	254	11165	11,17
Cemento	388	17060	17,06
Arena	762	33539	33,54
Ripio	843	37092	37,09
Σ	2247		

Elaborado por: Albán – Utreras

3.1.2 Dosificación para una A/C = 0.494

Tabla 39. Dosificación para una A/C = 0.494

Porcentajes de absorción y humedades del material (PIFO)			
% abs.fino	4,80	**Ga(agr.)**	2,565
% ab.grueso	2,25	**Gc=**	2,90
% hn.fino	0,49	**TMN**	19,1 mm
% hn.grueso	0,32	**Agua neta**	210 kg/m3

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación agua / cemento

Para la relación A/C se tomó un valor interpolado de 0.494.

Para los agregados se utilizaron las siguientes proporciones:

Agregado fino = 48% Agregado grueso = 52%

Reestimación de mezcla

Tabla 40. Dosificación para Reestimación de Muestra

0,02 m3 (Volumen de 2 cilindros)			
Resumen	**kg/m3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	257	5145	5,15
Cemento	425	8502	8,5
Arena	736	14720	14,72
Ripio	816	16316	16,32
Σ	2234		

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 41. Reestimación de Muestra

Reestimacion de mezcla kg/m3			
Arena seca utilizada	732	**Asentamiento**	7,5 cm
Ripio seco utilizado	813	**Agua neta**	210
% fino	48	**Agua neta reestimada**	214
% grueso	52	**Puh(real)**	2266

Elaborado por: Albán – Utreras

Hecho esto se procedió ahora si a calcular la dosificación definitiva para muestras de 8 cilindros mediante los nuevos datos obtenidos:

Tabla 42. Dosificación Final

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
Resumen	**kg/m3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	262	11520	11,52
Cemento	433	19059	19,06
Arena	745	32781	32,78
Ripio	826	36337	36,34
Σ	2266	**Asentamiento**	8cm

Elaborado por: Albán – Utreras

3.1.3 Dosificación para una A/C = 0.445

Tabla 43. Dosificación para una A/C = 0.445

Porcentajes de absorción y humedades del material (PIFO)			
% abs.fino	4,80	**Ga(agr.)**	2,565
% ab.grueso	2,25	**Gc=**	2,90
% hn.fino	1,12	**TMN**	19,1 mm
% hn.grueso	0,16	**Agua neta**	210 kg/m3

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación agua / cemento

Para la relación a/c se tomó un valor interpolado de 0.445

Para los agregados se utilizaron las siguientes proporciones:

Agregado fino = 48% Agregado grueso = 52%

Reestimación de mezcla

Tabla 44. Dosificación para Reestimación de Muestra

0,02 m3 (Volumen de 2 cilindros)			
Resumen	**kg/m3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	253	5056	5,06
Cemento	472	9438	9,44
Arena	721	14428	14,43
Ripio	793	15868	15,87
Σ	2239		

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 45. Reestimación de Muestra

Reestimación de mezcla kg/m3			
Arena seca utilizada	713	**Asentamiento**	5
Ripio seco utilizado	792	**Agua neta**	210
% fino	48	**Agua neta reestimada**	220
% grueso	52	**Puh(real)**	2281

Elaborado por: Albán – Utreras

Una vez hecho esto, se procedió a calcular la dosificación definitiva para muestras de 8 cilindros mediante los nuevos datos obtenidos:

Tabla 46. Dosificación Final

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
Resumen	**kg/m3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	263	11572	11,57
Cemento	494	21746	21,75
Arena	726	31939	31,94
Ripio	798	35127	35,13
Σ	2281	**Asentamiento**	8cm

Elaborado por: Albán – Utreras

3.1.4 Hormigón Liviano Estructural

Se llama normalmente hormigón liviano aquel hormigón elaborado con agregados livianos, que presenta una resistencia a los 28 días de 173 kg/cm2 que producen una densidad que varía entre 300kg/m3 y 1900 kg/m3, ya que los hormigones normales presentan una densidad de 2400 kg/m3. (Valdez Guzmán, Suárez Alcívar, & Proaño Cadena, s,f,.)

También se muestran otros beneficios, como la reducción en peso que produce un ahorro en el transporte de los materiales con respecto al volumen, además se facilitan las operaciones en el sitio de la construcción debido a que hay menos fatiga humana y al mismo tiempo esto permite aumentar el rendimiento de cada trabajador, lo que resulta en una construcción más rápida y, por lo tanto, una reducción en el costo. (Valdéz et al., s.f, pág.3)

3.1.5 Propiedades en Ingeniería de Hormigones Livianos

En edificios, el hormigón estructural liviano proporciona una estructura de concreto con mayor calificación de resistencia al fuego, además la porosidad del agregado liviano proporciona una fuente de agua para el curado interno del hormigón que permite el aumento continuo de la resistencia y durabilidad del hormigón. (Valdéz et al., s.f, pág.3)

3.2. Dosificación para Muestra de Prueba con Arcilla

Dosificación con 10 % de Arcilla para una A/C = 0.53

Para dosificar los diferentes porcentajes de arcilla en la mezcla primeramente se obtuvo todos los datos de absorción, humedad natural, gravedad específica de los agregados y a su vez de la arcilla.

Tabla 47. Gravedad Específica, Absorción y Humedad de los Agregados con Arcilla

Gravedad específica	Bulk	S.S.S	Aparente	Absorción	Humedad Natural
Arena	2,41	2,55	2,8	4,8	0,62
Ripio	2,51	2,58	2,7	2,25	0,18
Arcilla	0,56	0,63	0,6	12,79	0,44

Elaborado por: Albán – Utreras

Se tomó la dosificación ya realizada para la relación A/C =0.53 y así se pudo agregar un 10% de arcilla a la mezcla reduciendo el agregado fino.

Tabla 48. Dosificación Usada para una A/C = 0.53

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
Resumen	**kg/m3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	254	11165	11,17
Cemento	388	17060	17,06
Arena	762	33539	33,54
Ripio	843	37092	37,09
Σ	2247		

Elaborado por: Albán – Utreras

Se calculó los pesos secos de los agregados mediante la dosificación anterior, para esto se tomó el valor de arena de la dosificación anterior:

$$Arena\ seca = \frac{762\ (\frac{kg}{m3})}{1 + (\frac{0.62}{100})}$$

$$Arena\ seca = 757\ kg/m3$$

$$Ripio\ seco = \frac{843\ (\frac{kg}{m3})}{1 + (\frac{0.18}{100})}$$

$$Ripio\ seco = 841\ kg/m3$$

Realizado esto se procedió a calcular los volúmenes de todos los materiales que intervienen en el hormigón, y con esto se verificó que los resultados den el 100% del volumen absoluto del hormigón.

$$Volumen\ de\ agua = \frac{210\ kg/m3}{1000\ kg/M3}$$

$$Volumen\ de\ agua = 0.21\frac{m3}{M3}$$

$$Volumen\ de\ cemento = \frac{388\ kg/m3}{1000 * 2.9\ kg/M3}$$

$$Volumen\ de\ cemento = 0.134\frac{m3}{M3}$$

$$Volumen\ de\ arena = \frac{757\ kg/m3}{1000 * 2.41\ kg/M3}$$

$$Volumen\ de\ arena = 0.314 \frac{m3}{M3}$$

$$Volumen\ de\ ripio = \frac{841\ kg/m3}{1000 * 2.51\ kg/M3}$$

$$Volumen\ de\ ripio = 0.335 \frac{m3}{M3}$$

Se calculó el volumen de aire ya que el hormigón también ocupa aire en sus espacios vacíos.

$$Volumen\ de\ aire = \frac{2\ kg/m3}{100\ kg/M3}$$

$$Volumen\ de\ aire = 0.02 \frac{m3}{M3}$$

Para el volumen absoluto del hormigón se sumó todos los volúmenes anteriormente calculados:

$$Volumen\ absoluto = Vol.agua + Vol.cemento + Vol.arena + Vol.ripio + Vol.aire$$

$$Volumen\ absoluto = 1.013$$

El porcentaje de arcilla que se utilizó fue del 10% y para esto se sustituyó el volumen de arena previamente calculado.

Con el 10% de arcilla:

$$Volumen\ de\ arena = 0.314 * (1 - \left(\frac{10\ \%\ de\ arcilla}{100}\right))$$

$$Volumen\ de\ arena = 0.2826\ \frac{m3}{M3}$$

$$Volumen\ de\ arcilla = 0.314 - 0.2826$$

$$Volumen\ de\ arcilla = 0.031\ \frac{m3}{M3}$$

Se recalculó la arena y la arcilla en estado seco, natural, y a su vez se calculó la nueva agua de mezcla.

$$Arena\ seca = \ 0.2826 * 2.41 * 1000$$

$$Arena\ seca = 681.066\ kg/m3$$

$$Arena\ natural = \ \ 681.066 * (1 + \left(\frac{0.62}{100}\right))$$

$$Arena\ natural = 685.29\ kg/m3$$

$$Arcilla\ seca = \ 0.031 * 0.56 * 1000$$

$$Arcilla\ seca = 17.36\ kg/m3$$

$$Arcilla\ natural = \ \ 17.36 * \left[1 + \left(\frac{0.44}{100}\right)\right]$$

$$Arcilla\ natural = 17.44\ kg/m3$$

$$Agua\ de\ la\ mezcla$$

$$= 210 + \ \left[681.07 * \left(\frac{4.8 - 0.62}{100}\right) + 843 * \left(\frac{2.25 - 0.18}{100}\right) + 17.36 * \left(\frac{12.79 - 0.44}{100}\right)\right]$$

$$Agua\ de\ la\ mezcla = 258.02\ kg/m3$$

Se obtuvo la dosificación adecuada para el 10% de arcilla en la mezcla final, para esto se utilizó los mismos pesos de cemento y ripio de la dosificación de A/C =0.53.

Tabla 49. Dosificación Final con 10 % de Arcilla para una A/C = 0.53

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
RESUMEN	**Kg/M3**	**gr**	**kg.**
Agua de mezcla	258	11356	11,36
Cemento	388	17072	17,07
Arena	686	30175	30,18
Ripio	843	37092	37,09
Arcilla	18	778	0,78
Σ	2193		

Elaborado por: Albán – Utreras

Dosificación con 20 % de arcilla para una A/C = 0.53

Para aumentar el porcentaje de arcilla en la mezcla se procedió hacer lo mismo, pero ahora cambiando el valor al 20%.

Tabla 50. Dosificación Final con 20 % de Arcilla para una A/C = 0.53

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
RESUMEN	**Kg/M3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	253	11127	11,13
Cemento	388	17072	17,07
Arena Natural	610	26822	26,82
Ripio Natural	843	37092	37,09
Arcilla Natural	35	1554	1,55
Σ	2129		

Elaborado por: Albán – Utreras

Dosificación con 30 % de arcilla para una A/C = 0.53

Tabla 51. Dosificación Final con 30 % de Arcilla para una A/C = 0.53

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
RESUMEN	**Kg/M3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	252	11087	11,09
Cemento	388	17072	17,07
Arena Natural	533	23470	23,47
Ripio Natural	843	37092	37,09
Arcilla Natural	53	2330	2,33
Σ	2069		

Elaborado por: Albán – Utreras

Dosificación con 10 % de arcilla para una A/C = 0.494

Tabla 52. Gravedad Específica, Absorción y Humedad de los Agregados con Arcilla

Gravedad especifica	Bulk	S.S.S	Aparente	Absorcion	Humedad Natural
Arena	2,41	2,55	2,8	4,8	0,62
Ripio	2,51	2,58	2,7	2,25	0,18
Arcilla	0,56	0,63	0,6	12,79	6,29

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 53. Dosificación Final con 10 % de Arcilla para una A/C = 0.494

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
RESUMEN	**Kg/M3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	256	11266	11,27
Cemento	433	19052	19,05
Arena Natural	671	29502	29,50
Ripio Natural	826	36344	36,34
Arcilla Natural	18	805	0,80
Σ	2204		

Elaborado por: Albán – Utreras

Dosificación con 20 % de arcilla para una A/C = 0.494

Tabla 54. Dosificación Final con 20 % de Arcilla para una A/C = 0.494

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
RESUMEN	**Kg/M3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	254	11179	11,18
Cemento	433	19052	19,05
Arena Natural	596	26224	26,22
Ripio Natural	826	36344	36,34
Arcilla Natural	37	1609	1,61
Σ	2146		

Elaborado por: Albán – Utreras

Dosificación con 30 % de arcilla para una A/C = 0.494

Tabla 55. Dosificación Final con 30 % de Arcilla para una A/C = 0.494

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
RESUMEN	**Kg/M3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	252	11092	11,09
Cemento	433	19052	19,05
Arena Natural	522	22946	22,95
Ripio Natural	826	36344	36,34
Arcilla Natural	55	2414	2,41
Σ	2087		

Elaborado por: Albán – Utreras

Dosificación con 10 % de arcilla para una A/C = 0.445

Tabla 56. Gravedad Específica, Absorción y Humedad de los Agregados con Arcilla

Gravedad especifica	Bulk	S.S.S	Aparente	Absorcion	Humedad Natural
Arena	2,41	2,55	2,8	4,8	0,6
Ripio	2,51	2,58	2,7	2,25	0,19
Arcilla	0,56	0,63	0,6	12,79	9,82

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 57. Dosificación Final con 10 % de Arcilla para una A/C = 0.445

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
RESUMEN	**Kg/M3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	252	11087	11,09
Cemento	432	19008	19,01
Arena Natural	621	27324	27,32
Ripio Natural	758	33352	33,35
Arcilla Natural	18	770	0,77
Σ	2080		

Elaborado por: Albán – Utreras

Dosificación con 20 % de arcilla para una A/C = 0.445

Tabla 58. Dosificación Final con 20 % de Arcilla para una A/C = 0.445

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
RESUMEN	**Kg/M3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	250	10981	10,98
Cemento	432	19008	19,01
Arena Natural	552	24288	24,29
Ripio Natural	758	33352	33,35
Arcilla Natural	35	1540	1,54
Σ	2027		

Elaborado por: Albán – Utreras

Dosificación con 30 % de arcilla para una A/C = 0.445

Tabla 59. Dosificación Final con 30 % de Arcilla para una A/C = 0.445

0,044 m3 (Volumen de 8 cilindros)			
RESUMEN	**Kg/M3**	**gr.**	**kg.**
Agua de mezcla	247	10875	10,88
Cemento	432	19008	19,01
Arena Natural	483	21252	21,25
Ripio Natural	758	33352	33,35
Arcilla Natural	53	2310	2,31
Σ	1973		

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 60.Resumen de Pesos Unitarios obtenidos en la Mezcla

Pesos Unitarios mezcla original (kg/m3)	
Relación A/C = 0,53	2247
Relación A/C = 0,494	2266
Relación A/C = 0,445	2281
Pesos Unitarios mezcla con arcilla (kg/m3)	
Relación A/C = 0,53	
10%	2206
20%	2167
30%	2106
Relación A/C = 0,494	
10%	2218
20%	2184
30%	2118
Relación A/C = 0,445	
10%	2235
20%	2192
30%	2123

Elaborado por: Albán – Utreras

3.3.Preparación del hormigón de prueba

3.3.1 Consistencia

"La consistencia del hormigón es una propiedad del hormigón fresco y es al mismo tiempo factor que influye en las propiedades del hormigón endurecido" (Hummel, 1966, pág. 107).

La consistencia del hormigón fresco depende de puntos de vista constructivos, de las dimensiones de las secciones de las obras y del sistema empleado para la puesta en obra del hormigón y, cuando esta elegida y fijada, determina el sistema de compactación más conveniente. (Hummel, 1966, pág. 107)

"Cuando la consistencia de un hormigón es muy seca o espesa, es posible obtener con una buena compactación resistencias elevadas y retracciones reducidas" (Hummel, 1966, pág. 107).

Para poder determinar la consistencia del hormigon existe la norma INEN 1578 y la norma ASTM C143 que nos especifican la manera correcta de realizar este ensayo mediante la utilizacion del cono de Abrams.

De manera general la norma INEN nos da un resumen acerca de este ensayo:

Ensayo del cono de Abrams: Una muestra de hormigón recién mezclado se coloca dentro de un molde con forma de un cono truncado, y se compacta con una varilla. Se levanta el molde permitiendo que el hormigón se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la del centro desplazado de la superficie superior del hormigon, luego de su deformación se reporta el valor como el asentamiento del hormigón. (INEN1578, 2010, p.1)

Procedimiento para la determinación del asentamiento según el cono de Abrams:

1. Humedecer el interior del cono, luego colocar sobre una superficie plana.
2. Llenar el cono hasta 1/3 de su capacidad y compactar con una barra metalica dando 25 golpes uniformemente repartidos por la superficie del hormigón.
3. Llenar el cono hasta 2/3 de su capacidad y compactar con la varilla dando 25 golpes.
4. Llenar el cono en su totalidad de manera que el hormigón se desborde un poco sobre la superficie y compactar con la varilla dando 25 golpes.
5. Retirar el exceso de hormigón de manera que el cono quede perfectamente enrasado.

6. Retirar el molde con cuidado levantándolo en dirección vertical en un período de tiempo de 5 segundos mas, menos 2 segundos.
7. Medir el asentamiento colocando el cono de manera invertida y la varilla en su base, finalmente tomar la medida del asentamiento con un flexómetro.

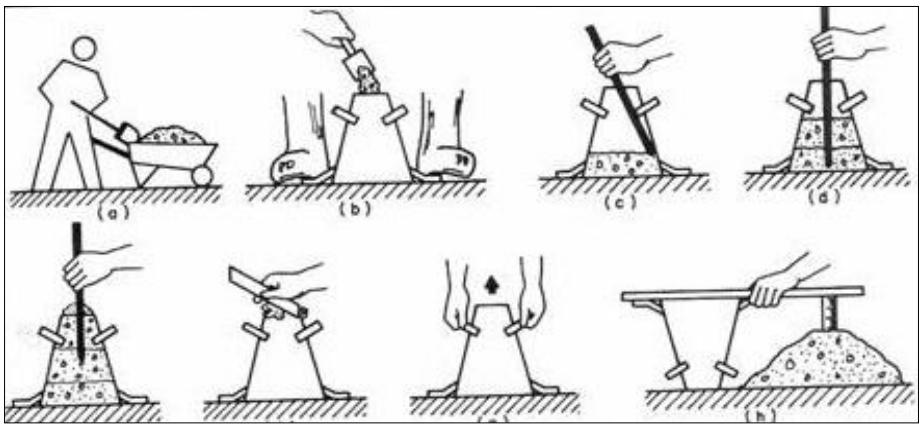


Figura 45. Procedimiento de Ensayo del Hormigón Según el Cono de Abrams
Fuente: (Jorge Mario, 2008)

La medida de la consistencia del hormigón nos indica la trabajabilidad de este y para esto podemos guiarnos de la siguiente tabla.

Tabla 61. Consistencia según el Cono de Abrams

Consistencia	Asentamiento (cm)	Tolerancia (cm)
Seca (S)	0 - 2	0
Plastica (P)	3 - 5	± 1
Blanda (B)	6 - 9	± 1
Fluida (F)	10 - 15	± 2
Liquida (L)	> 15	0

Fuente: Manual de Consejos Prácticos sobre Hormigón. (ANEFHOP, 1978)



Figura 46. Asentamiento del Hormigón
Fuente: Albán – Utreras

3.3.2 Ensayo de Resistencia a Compresión

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos de hormigón de cemento hidráulico, a una velocidad que se encuentra dentro de un rango definido hasta que ocurra la falla del espécimen. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo, para el área de la sección transversal del espécimen. (INEN 1573, 2010, p. 2)

3.3.3 Resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión en Cilindros

Relación A/C = 0.53: Muestra Original

Tabla 62. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.53 Muestra Original

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	26/11/2019	26/11/2019	26/11/2019	26/11/2019
Fecha de Ensayo	3/12/2019	3/12/2019	3/12/2019	3/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	154.02	152.19	152.16	152.46
Diámetro 2 (mm)	153.81	151.99	154.77	154.77
Altura 1 (mm)	299.35	301.40	300.79	300.72
Altura 2 (mm)	300.47	299.35	301.65	301.81
Altura 3 (mm)	301.40	302.34	301.25	302.43
Masa (Kg)	12.92	12.51	12.43	12.54
Carga Máxima (KN)	228.54	227.63	221.86	225.53
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	300.41	301.03	301.23	301.65
Diámetro Promedio (mm)	153.92	152.09	153.47	153.62
Área Promedio (mm2)	18605.9	18167.3	18497.3	18533.5
Resistencia (MPa)	12.28	12.53	11.99	12.17
Resistencia (Kg/cm2)	125.25	127.77	122.31	124.09

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 63. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.53 Muestra Original

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	26/11/2019	26/11/2019	26/11/2019	26/11/2019
Fecha de Ensayo	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.68	151.40	154.26	151.22
Diámetro 2 (mm)	151.86	150.72	153.22	149.79
Altura 1 (mm)	304.77	300.69	303.33	301.16
Altura 2 (mm)	304.24	300.77	304.34	300.53
Altura 3 (mm)	304.51	300.65	303.75	300.80
Masa (Kg)	12.57	12.23	12.79	12.17
Carga Máxima (KN)	381.51	384.72	406.84	389.82
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	304.51	300.70	303.81	300.83
Diámetro Promedio (mm)	151.77	151.06	153.74	150.51
Área Promedio (mm2)	18090.97	17922.10	18563.66	17790.65
Resistencia (MPa)	21.09	21.47	21.92	21.91
Resistencia (Kg/cm2)	215.04	218.90	223.48	223.44

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.53: 10 % de Arcilla

Tabla 64. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.53 con 10% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53 con 10% de Arlita				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019
Fecha de Ensayo	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	153.82	151.94	149.50	151.42
Diámetro 2 (mm)	153..08	151.03	149.89	152.83
Altura 1 (mm)	300.93	301.70	299.48	300.00
Altura 2 (mm)	301.84	301.96	302.59	300.32
Altura 3 (mm)	301.48	300.35	300.69	300.19
Masa (Kg)	12.80	12.26	12.00	12.37
Carga Máxima (KN)	201.89	216.25	221.92	217.22
Tipo de Falla	V	IV	IV	V
Altura Promedio (mm)	301.42	301.34	300.92	300.17
Diámetro Promedio (mm)	153.82	151.49	149.70	152.13
Área Promedio (mm2)	18583.0	18023.1	17599.7	18175.7
Resistencia (MPa)	10.86	12.00	12.61	11.95
Resistencia (Kg/cm2)	110.78	122.35	128.58	121.87

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 65. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.53 con 10% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53 con 10% de Arlita				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019
Fecha de Ensayo	15/1/2020	16/1/2020	17/1/2020	18/1/2020
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.08	153.80	152.40	152.75
Diámetro 2 (mm)	151.10	153.89	152.65	152.44
Altura 1 (mm)	301.04	306.11	301.94	303.68
Altura 2 (mm)	301.50	303.76	300.13	301.60
Altura 3 (mm)	303.12	304.22	299.90	303.13
Masa (Kg)	12.07	12.57	12.31	12.32
Carga Máxima (KN)	373.80	338.30	362.40	375.12
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	301.89	304.70	300.66	302.80
Diámetro Promedio (mm)	151.09	153.85	152.53	152.60
Área Promedio (mm2)	17929.22	18589.03	18271.41	18288.18
Resistencia (MPa)	20.85	18.20	19.83	20.51
Resistencia (Kg/cm2)	212.60	185.58	202.25	209.16

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.53: 20 % de Arcilla

Tabla 66. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.53 con 20% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53 con 20% de Arlita				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019
Fecha de Ensayo	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	149.82	150.89	151.01	152.02
Diámetro 2 (mm)	151.93	151.79	151.12	152.52
Altura 1 (mm)	299.31	302.45	302.47	302.56
Altura 2 (mm)	301.58	302.25	300.92	302.76
Altura 3 (mm)	301.54	301.13	299.35	302.35
Masa (Kg)	11.52	11.64	11.72	11.96
Carga Máxima (KN)	195.29	220.72	193.63	213.26
Tipo de Falla	V	IV	V	V
Altura Promedio (mm)	300.81	301.94	300.92	302.56
Diámetro Promedio (mm)	150.88	151.34	151.07	152.27
Área Promedio (mm2)	17878.2	17988.6	17923.3	18210.4
Resistencia (MPa)	10.92	12.27	10.80	11.71
Resistencia (Kg/cm2)	111.39	125.12	110.16	119.42

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 67. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.53 con 20% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53 con 20% de Arlita				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019
Fecha de Ensayo	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152.08	153.74	153.57	152.84
Diámetro 2 (mm)	152.68	153.77	153.51	151.88
Altura 1 (mm)	305.52	306.22	306.91	303.01
Altura 2 (mm)	305.82	305.63	306.05	304.34
Altura 3 (mm)	305.67	306.01	307.24	305.96
Masa (Kg)	12.00	12.28	12.25	11.94
Carga Máxima (KN)	348.90	323.50	336.50	336.80
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	305.67	305.95	306.73	304.44
Diámetro Promedio (mm)	152.38	153.76	153.54	152.36
Área Promedio (mm2)	18236.68	18567.28	18515.39	18231.89
Resistencia (MPa)	19.13	17.42	18.17	18.47
Resistencia (Kg/cm2)	195.09	177.67	185.32	188.37

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.53: 30 % de Arcilla

Tabla 68. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.53 con 30% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53 con 30% de Arlita				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019
Fecha de Ensayo	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	150.50	150.99	151.26	150.42
Diámetro 2 (mm)	151.05	150.62	151.47	153.26
Altura 1 (mm)	300.57	299.56	299.86	300.52
Altura 2 (mm)	300.60	300.10	299.45	301.66
Altura 3 (mm)	301.91	301.06	301.50	300.57
Masa (Kg)	11.08	11.27	11.27	11.77
Carga Máxima (KN)	188.80	176.71	188.38	203.57
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	301.03	300.24	300.27	300.92
Diámetro Promedio (mm)	150.78	150.81	151.37	151.84
Área Promedio (mm2)	17854.5	17861.6	17994.5	18107.7
Resistencia (MPa)	10.57	9.89	10.47	11.24
Resistencia (Kg/cm2)	107.83	100.88	106.75	114.64

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 69. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.53 con 30% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53 con 30% de Arlita				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019
Fecha de Ensayo	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152.64	154.34	151.50	151.01
Diámetro 2 (mm)	153.09	154.72	150.74	153.14
Altura 1 (mm)	302.08	306.14	301.14	305.66
Altura 2 (mm)	302.06	306.76	302.06	304.65
Altura 3 (mm)	302.23	305.95	304.47	304.83
Masa (Kg)	11.60	11.91	11.49	11.72
Carga Máxima (KN)	299.41	308.30	305.80	327.60
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	302.12	306.28	302.56	305.05
Diámetro Promedio (mm)	152.87	154.53	151.12	152.08
Área Promedio (mm2)	18352.96	18754.93	17936.34	18163.75
Resistencia (MPa)	16.31	16.44	17.05	18.04
Resistencia (Kg/cm2)	166.36	167.63	173.85	183.92

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.494: Muestra Original

Tabla 70. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.494 Muestra Original

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	27/11/2019	27/11/2019	27/11/2019	27/11/2019
Fecha de Ensayo	4/12/2019	4/12/2019	4/12/2019	4/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	151.36	152.1	149.72	150.39
Diámetro 2 (mm)	151.2	152.63	151.92	150.63
Altura 1 (mm)	299.21	302.54	302.82	301.62
Altura 2 (mm)	299.41	299.76	299.02	300.70
Altura 3 (mm)	299.36	300.60	301.30	299.17
Masa (Kg)	12.12	12.35	12.1	12.06
Carga Máxima (KN)	248.43	240.9	245.8	265.1
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	299.33	300.97	301.05	300.50
Diámetro Promedio (mm)	151.28	152.37	150.82	150.51
Área Promedio (mm2)	17974.3	18233.1	17865.2	17791.8
Resistencia (MPa)	13.82	13.21	13.76	14.90
Resistencia (Kg/cm2)	140.94	134.73	140.30	151.94

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 71. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.494 Muestra Original

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	27/11/2019	27/11/2019	27/11/2019	27/11/2019
Fecha de Ensayo	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	153.79	151.14	151.19	153.59
Diámetro 2 (mm)	154.51	150.83	150.65	153.22
Altura 1 (mm)	304.76	299.92	299.17	305.08
Altura 2 (mm)	304.77	299.94	301.01	304.33
Altura 3 (mm)	304.51	299.95	300.80	304.40
Masa (Kg)	12.81	12.16	12.11	12.85
Carga Máxima (KN)	446.54	453.89	436.20	437.78
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	304.68	299.94	300.33	304.60
Diámetro Promedio (mm)	154.15	150.99	150.92	153.41
Área Promedio (mm2)	18662.81	17904.31	17888.89	18482.85
Resistencia (MPa)	23.93	25.35	24.38	23.69
Resistencia (Kg/cm2)	243.99	258.51	248.65	241.53

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.494: 10 % de Arcilla

Tabla 72. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.494 con 10% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494 con 10% de Arlita				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019
Fecha de Ensayo	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	150.89	151.20	151.81	153.93
Diámetro 2 (mm)	150.66	150.84	151.48	153.54
Altura 1 (mm)	301.68	302.94	299.91	300.74
Altura 2 (mm)	299.31	299.98	299.08	300.77
Altura 3 (mm)	302.34	299.77	302.71	302.36
Masa (Kg)	11.89	11.83	12.04	12.44
Carga Máxima (KN)	231.59	226.14	248.18	238.88
Tipo de Falla	V	IV	IV	V
Altura Promedio (mm)	301.11	300.90	300.57	301.29
Diámetro Promedio (mm)	150.78	151.02	151.65	153.74
Área Promedio (mm2)	17854.5	17912.6	18061.2	18562.5
Resistencia (MPa)	12.97	12.62	13.74	12.87
Resistencia (Kg/cm2)	132.27	128.74	140.12	131.23

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 73. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.494 con 10% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494 con 10% de Arlita				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019
Fecha de Ensayo	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	153.23	151.39	152.29	151.33
Diámetro 2 (mm)	154.24	153.19	153.21	151.59
Altura 1 (mm)	307.25	303.61	300.66	301.24
Altura 2 (mm)	307.25	304.62	300.16	301.58
Altura 3 (mm)	307.25	306.19	300.27	301.33
Masa (Kg)	12.62	12.34	12.21	12.09
Carga Máxima (KN)	377.50	384.20	395.30	391.30
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	307.25	304.81	300.36	301.38
Diámetro Promedio (mm)	153.74	152.29	152.75	151.46
Área Promedio (mm2)	18562.45	18215.15	18325.35	18017.14
Resistencia (MPa)	20.34	21.09	21.57	21.72
Resistencia (Kg/cm2)	207.38	215.08	219.97	221.46

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.494: 20 % de Arcilla

Tabla 74. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.494 con 20% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494 con 20% de Arlita				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019
Fecha de Ensayo	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	152.83	150.80	152.15	151.98
Diámetro 2 (mm)	152.85	150.35	152.16	152.55
Altura 1 (mm)	300.90	301.50	299.96	302.90
Altura 2 (mm)	300.14	301.59	299.34	299.93
Altura 3 (mm)	299.63	299.46	302.41	301.91
Masa (Kg)	12.09	11.78	12.00	12.02
Carga Máxima (KN)	227.88	226.30	222.10	231.20
Tipo de Falla	V	IV	V	IV
Altura Promedio (mm)	300.22	300.85	300.57	301.58
Diámetro Promedio (mm)	152.84	150.58	152.16	152.27
Área Promedio (mm2)	18347.0	17807.2	18182.9	18209.2
Resistencia (MPa)	12.42	12.71	12.21	12.70
Resistencia (Kg/cm2)	126.66	129.59	124.56	129.47

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 75. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.494 con 20% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494 con 20% de Arlita				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019
Fecha de Ensayo	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	153.53	153.84	151.39	151.02
Diámetro 2 (mm)	150.60	153.83	151.23	150.87
Altura 1 (mm)	307.26	306.74	305.69	300.87
Altura 2 (mm)	306.13	307.15	305.17	302.08
Altura 3 (mm)	307.25	305.70	303.89	302.29
Masa (Kg)	12.08	12.27	11.80	11.67
Carga Máxima (KN)	362.50	355.70	375.30	356.80
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	306.88	306.53	304.92	301.75
Diámetro Promedio (mm)	152.07	153.84	151.31	150.95
Área Promedio (mm2)	18161.36	18586.61	17981.47	17894.82
Resistencia (MPa)	19.96	19.14	20.87	19.94
Resistencia (Kg/cm2)	203.54	195.15	212.83	203.32

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.494: 30 % de Arcilla

Tabla 76. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.494 con 30% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494 con 30% de Arlita				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019
Fecha de Ensayo	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019	26/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	150.61	152.74	151.04	150.27
Diámetro 2 (mm)	152.07	152.07	151.76	150.02
Altura 1 (mm)	300.58	302.63	301.61	302.97
Altura 2 (mm)	300.79	302.54	300.38	299.79
Altura 3 (mm)	302.67	301.72	301.09	301.22
Masa (Kg)	11.36	11.65	11.36	11.25
Carga Máxima (KN)	202.57	209.22	218.30	214.09
Tipo de Falla	V	IV	IV	V
Altura Promedio (mm)	301.35	302.30	301.03	301.33
Diámetro Promedio (mm)	151.34	152.41	151.40	150.15
Área Promedio (mm2)	17988.6	18242.7	18002.9	17705.6
Resistencia (MPa)	11.26	11.47	12.13	12.09
Resistencia (Kg/cm2)	114.83	116.95	123.65	123.30

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 77. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.494 con 30% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494 con 30% de Arlita				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019
Fecha de Ensayo	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	152.08	153.56	151.50	151.26
Diámetro 2 (mm)	151.63	153.55	151.14	151.84
Altura 1 (mm)	307.65	306.57	304.02	305.20
Altura 2 (mm)	307.26	307.18	301.37	302.57
Altura 3 (mm)	306.70	307.25	300.34	301.04
Masa (Kg)	11.78	12.09	11.32	11.52
Carga Máxima (KN)	305.06	329.30	315.80	325.20
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	307.20	307.00	301.91	302.94
Diámetro Promedio (mm)	151.86	153.56	151.32	151.55
Área Promedio (mm2)	18111.24	18519.01	17983.84	18038.56
Resistencia (MPa)	16.84	17.78	17.56	18.03
Resistencia (Kg/cm2)	171.76	181.32	179.06	183.84

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.445: Muestra Original

Tabla 78. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.445 Muestra Original

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	2/11/2019	2/11/2019	2/11/2019	2/11/2019
Fecha de Ensayo	9/12/2019	9/12/2019	9/12/2019	9/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	150.30	150.18	152.94	150.90
Diámetro 2 (mm)	150.29	150.35	152.88	152.82
Altura 1 (mm)	299.48	300.34	302.82	302.73
Altura 2 (mm)	300.50	302.12	299.99	299.57
Altura 3 (mm)	302.11	301.06	302.83	302.20
Masa (Kg)	12.03	12.06	12.81	12.26
Carga Máxima (KN)	301.40	298.90	290.90	300.50
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	300.70	301.17	301.88	301.50
Diámetro Promedio (mm)	150.30	150.27	152.91	151.86
Área Promedio (mm2)	17741.0	17734.0	18363.8	18112.4
Resistencia (MPa)	16.99	16.85	15.84	16.59
Resistencia (Kg/cm2)	173.24	171.87	161.53	169.18

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 79. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.445 Muestra Original

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	2/11/2019	2/11/2019	2/11/2019	2/11/2019
Fecha de Ensayo	6/1/2020	6/1/2020	6/1/2020	6/1/2020
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	150.96	150.06	153.20	150.04
Diámetro 2 (mm)	150.21	150.69	154.70	151.48
Altura 1 (mm)	304.47	302.57	307.25	301.47
Altura 2 (mm)	305.17	302.59	305.61	301.25
Altura 3 (mm)	304.51	302.45	306.64	301.54
Masa (Kg)	12.27	12.14	12.96	12.39
Carga Máxima (KN)	544.00	522.61	552.22	545.25
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	304.72	302.54	306.50	301.42
Diámetro Promedio (mm)	150.59	150.38	153.95	150.76
Área Promedio (mm2)	17809.56	17759.93	18614.41	17850.98
Resistencia (MPa)	30.55	29.43	29.67	30.54
Resistencia (Kg/cm2)	311.48	300.07	302.51	311.47

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.445: 10 % de Arcilla

Tabla 80. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.445 con 10% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445 con 10% de Arlita				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019
Fecha de Ensayo	27/12/2019	27/12/2019	27/12/2019	27/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	152.31	150.23	151.66	154.64
Diámetro 2 (mm)	153.15	152.68	151.83	154.45
Altura 1 (mm)	299.21	300.89	302.31	302.17
Altura 2 (mm)	299.96	300.52	301.96	301.92
Altura 3 (mm)	301.18	299.04	301.85	301.54
Masa (Kg)	12.30	11.87	12.02	12.14
Carga Máxima (KN)	284.40	291.31	284.62	293.21
Tipo de Falla	V	V	V	IV
Altura Promedio (mm)	300.12	300.15	302.04	301.88
Diámetro Promedio (mm)	152.73	151.46	151.75	154.55
Área Promedio (mm2)	18320.6	18015.9	18085.0	18758.6
Resistencia (MPa)	15.52	16.17	15.74	15.63
Resistencia (Kg/cm2)	158.30	164.88	160.48	159.39

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 81. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.445 con 10% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445 con 10% de Arlita				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019
Fecha de Ensayo	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.00	153.40	150.66	152.25
Diámetro 2 (mm)	151.23	152.25	150.50	152.63
Altura 1 (mm)	301.16	304.60	301.26	309.03
Altura 2 (mm)	301.45	304.59	301.66	309.00
Altura 3 (mm)	301.53	304.47	301.29	308.89
Masa (Kg)	12.17	12.42	11.97	12.06
Carga Máxima (KN)	477.60	478.60	460.40	470.10
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	301.38	304.55	301.40	308.97
Diámetro Promedio (mm)	151.12	152.83	150.58	152.44
Área Promedio (mm2)	17935.15	18343.35	17808.38	18251.05
Resistencia (MPa)	26.63	26.09	25.85	25.76
Resistencia (Kg/cm2)	271.54	266.06	263.63	262.65

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.445: 20 % de Arcilla

Tabla 82. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.445 con 20% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445 con 20% de Arlita				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019
Fecha de Ensayo	27/12/2019	27/12/2019	27/12/2019	27/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	155.24	154.76	151.99	151.85
Diámetro 2 (mm)	156.28	151.59	151.70	156.28
Altura 1 (mm)	302.73	302.31	300.63	301.69
Altura 2 (mm)	299.86	299.52	301.50	301.24
Altura 3 (mm)	300.45	302.21	301.42	302.01
Masa (Kg)	12.24	12.03	11.78	11.76
Carga Máxima (KN)	282.20	278.90	292.60	302.40
Tipo de Falla	IV	V	V	V
Altura Promedio (mm)	301.01	301.34	301.19	301.64
Diámetro Promedio (mm)	155.76	153.18	151.85	154.07
Área Promedio (mm2)	19054.7	18427.5	18108.9	18642.2
Resistencia (MPa)	14.81	15.14	16.16	16.22
Resistencia (Kg/cm2)	151.02	154.33	164.76	165.41

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 83. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.445 con 20% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445 con 20% de Arlita				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019
Fecha de Ensayo	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	153.80	151.69	151.33	150.65
Diámetro 2 (mm)	152.76	151.61	150.81	152.99
Altura 1 (mm)	307.20	305.44	301.46	304.60
Altura 2 (mm)	307.11	305.53	301.51	305.16
Altura 3 (mm)	306.72	303.91	300.67	305.29
Masa (Kg)	12.29	12.10	11.71	12.01
Carga Máxima (KN)	454.20	443.90	435.60	457.01
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	307.01	304.96	301.21	305.02
Diámetro Promedio (mm)	153.28	151.65	151.07	151.82
Área Promedio (mm2)	18452.74	18062.37	17924.47	18102.89
Resistencia (MPa)	24.61	24.58	24.30	25.25
Resistencia (Kg/cm2)	251.00	250.61	247.81	257.43

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.445: 30 % de Arcilla

Tabla 84. Resultados del Ensayo a Compresión a los 7 días para una A/C =0.445 con 30% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445 con 30% de Arlita				
Muestra	**1**	**2**	**3**	**4**
Fecha de Fabricación	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019
Fecha de Ensayo	27/12/2019	27/12/2019	27/12/2019	27/12/2019
Días de Curado	7	7	7	7
Diámetro 1 (mm)	153.13	150.89	151.80	151.68
Diámetro 2 (mm)	153.09	151.70	152.62	151.82
Altura 1 (mm)	300.98	300.54	301.46	301.10
Altura 2 (mm)	302.05	300.77	301.76	300.46
Altura 3 (mm)	299.86	299.23	300.29	301.83
Masa (Kg)	11.95	11.47	11.75	11.25
Carga Máxima (KN)	239.10	242.20	242.10	247.80
Tipo de Falla	V	IV	IV	V
Altura Promedio (mm)	300.96	300.18	301.17	301.13
Diámetro Promedio (mm)	153.11	151.30	152.21	151.75
Área Promedio (mm2)	18411.8	17977.9	18196.0	18086.2
Resistencia (MPa)	12.99	13.47	13.31	13.70
Resistencia (Kg/cm2)	132.42	137.38	135.67	139.71

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 85. Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días para una A/C =0.445 con 30% Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445 con 30% de Arlita				
Muestra	**5**	**6**	**7**	**8**
Fecha de Fabricación	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019
Fecha de Ensayo	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020
Días de Curado	28	28	28	28
Diámetro 1 (mm)	151.84	151.84	150.43	151.88
Diámetro 2 (mm)	151.04	153.15	150.45	152.71
Altura 1 (mm)	300.00	300.43	301.48	304.69
Altura 2 (mm)	300.00	300.18	302.86	304.85
Altura 3 (mm)	299.78	300.87	301.30	304.68
Masa (Kg)	11.41	11.71	11.31	11.79
Carga Máxima (KN)	370.60	384.50	380.30	371.09
Tipo de Falla	V	V	V	V
Altura Promedio (mm)	299.93	300.49	301.88	304.74
Diámetro Promedio (mm)	151.44	152.50	150.44	152.30
Área Promedio (mm2)	18012.38	18264.22	17775.28	18216.34
Resistencia (MPa)	20.57	21.05	21.39	20.37
Resistencia (Kg/cm2)	209.80	214.67	218.17	207.73

Elaborado por: Albán – Utreras

Resumen:

Tabla 86. Cuadro de Resultados del Ensayo a Compresión a los 28 días con Porcentajes de Arcilla

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS						
LOCALIZACIÓN:	PIFO		AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN		
CANTERA:	HOLCIM PIFO			ISRAEL UTRERAS		
Cuadro Resumen						
Relación A/C	Porcentaje de Arcilla	f'c a los 28 días (kg/cm2)	Masa (kg)	Desviación Estándar	f'c Característica	% De disminución de f'c
A/C= 0.53	0%	220,21	12,44	4,06	214,73	-
	10%	202,40	12,32	12,01	186,18	13,29
	20%	186,61	12,12	7,23	176,86	17,64
	30%	172,94	11,68	8,02	162,11	24,50
Relación A/C	Porcentaje de Arcilla	f'c a los 28 días (kg/cm2)	Masa (kg)	Desviación Estándar	f'c Característica	% De disminución de f'c
A/C= 0.494	0%	248,17	12,48	7,50	238,04	-
	10%	215,97	12,32	6,34	207,41	12,87
	20%	203,71	11,96	7,23	193,95	18,52
	30%	179,00	11,68	5,20	171,97	27,76
Relación A/C	Porcentaje de Arcilla	f'c a los 28 días (kg/cm2)	Masa (kg)	Desviación Estándar	f'c Característica	% De disminución de f'c
A/C= 0.445	0%	306,38	12,44	5,96	298,33	-
	10%	265,97	12,16	3,98	260,60	12,65
	20%	251,71	12,03	4,07	246,22	17,47
	30%	212,59	11,56	4,72	206,22	30,87

Elaborado por: Albán – Utreras

Gráfica de resistencia característica con porcentajes de arcilla expandida (Cilindros ensayados a los 28 días):

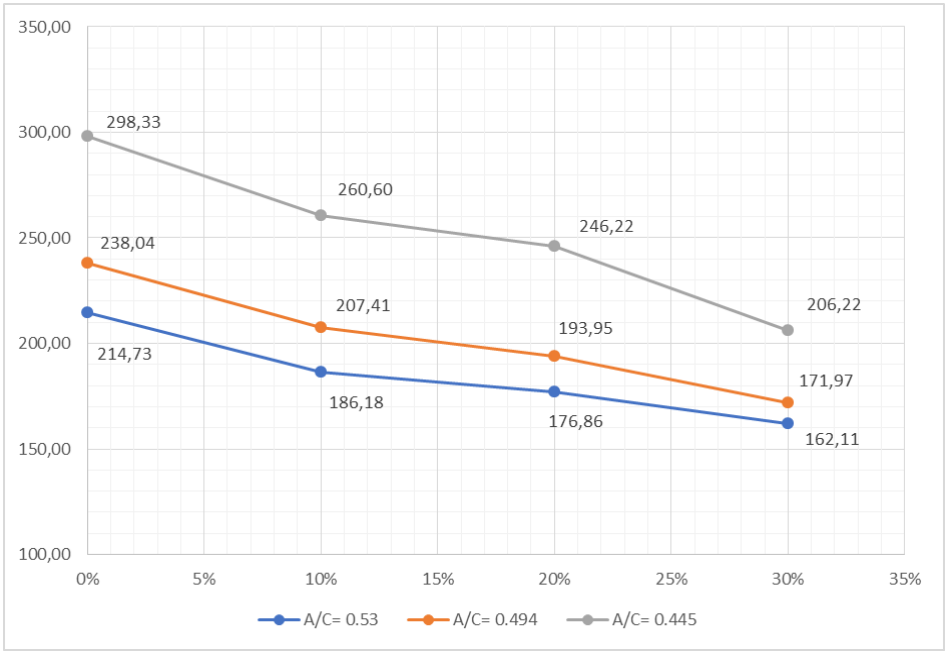


Figura 47. Resistencia adquirida a los 28 días en el Ensayo a Compresión de Cilindros (referido a la tabla 86)

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación entre las Resistencia de 7 y 28 días

Tabla 87. Comparativa entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.53

Relación A/C	7 Días			28 Días			
	f'c Promedio	Desviación Estándar	f'r Característica	f'c Promedio	Desviación Estándar	f'r Característica	Desempeño de la Resistencia *
A/C = 0,53 (0% de Arcilla)	124,85	2,29	121,76	220,21	4,06	214,73	56,70%
A/C = 0,53 (10% de Arcilla)	120,90	7,40	110,91	202,40	12,01	186,19	59,57%
A/C = 0,53 (20% de Arcilla)	116,52	7,05	107,00	186,61	7,23	176,85	60,50%
A/C = 0,53 (30% de Arcilla)	107,53	5,64	99,92	172,94	8,02	162,11	61,63%

Elaborado por: Albán – Utreras

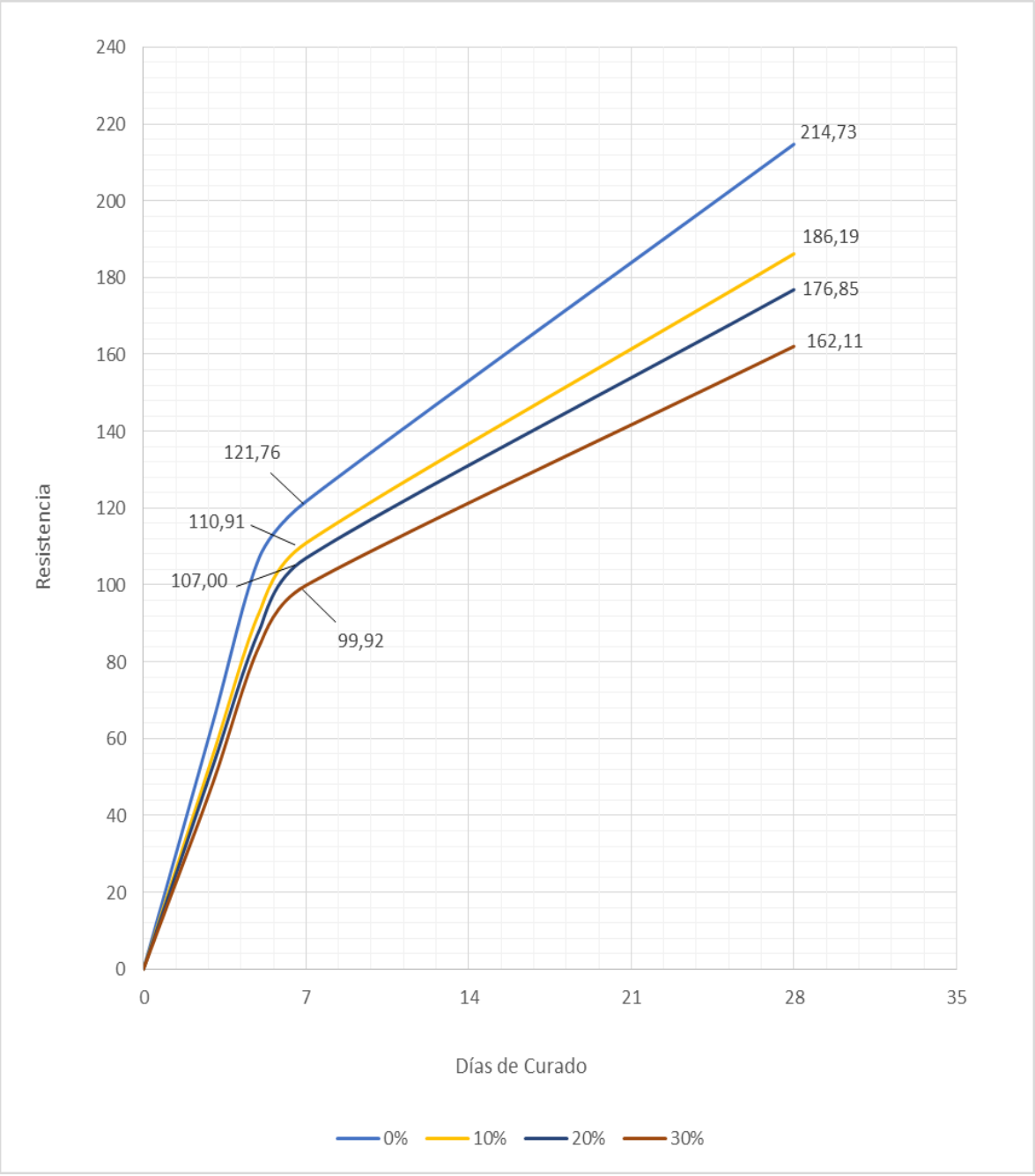


Figura 48. Relación entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.53
Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 88. Comparativa entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.494

Relación A/C	7 Días			28 Días			
	f'c Promedio	Desviación Estándar	f'r Característica	f'c Promedio	Desviación Estándar	f'r Característica	Desempeño de la Resistencia *
A/C = 0,494 (0% de Arcilla)	141,98	7,20	132,26	248,17	7,50	238,05	55,56%
A/C = 0,494 (10% de Arcilla)	133,09	4,92	126,45	215,97	6,35	207,40	60,97%
A/C = 0,494 (20% de Arcilla)	127,57	2,43	124,29	203,71	7,23	193,95	64,08%
A/C = 0,494 (30% de Arcilla)	119,68	4,47	113,65	179,00	5,20	171,98	66,08%

Elaborado por: Albán – Utreras

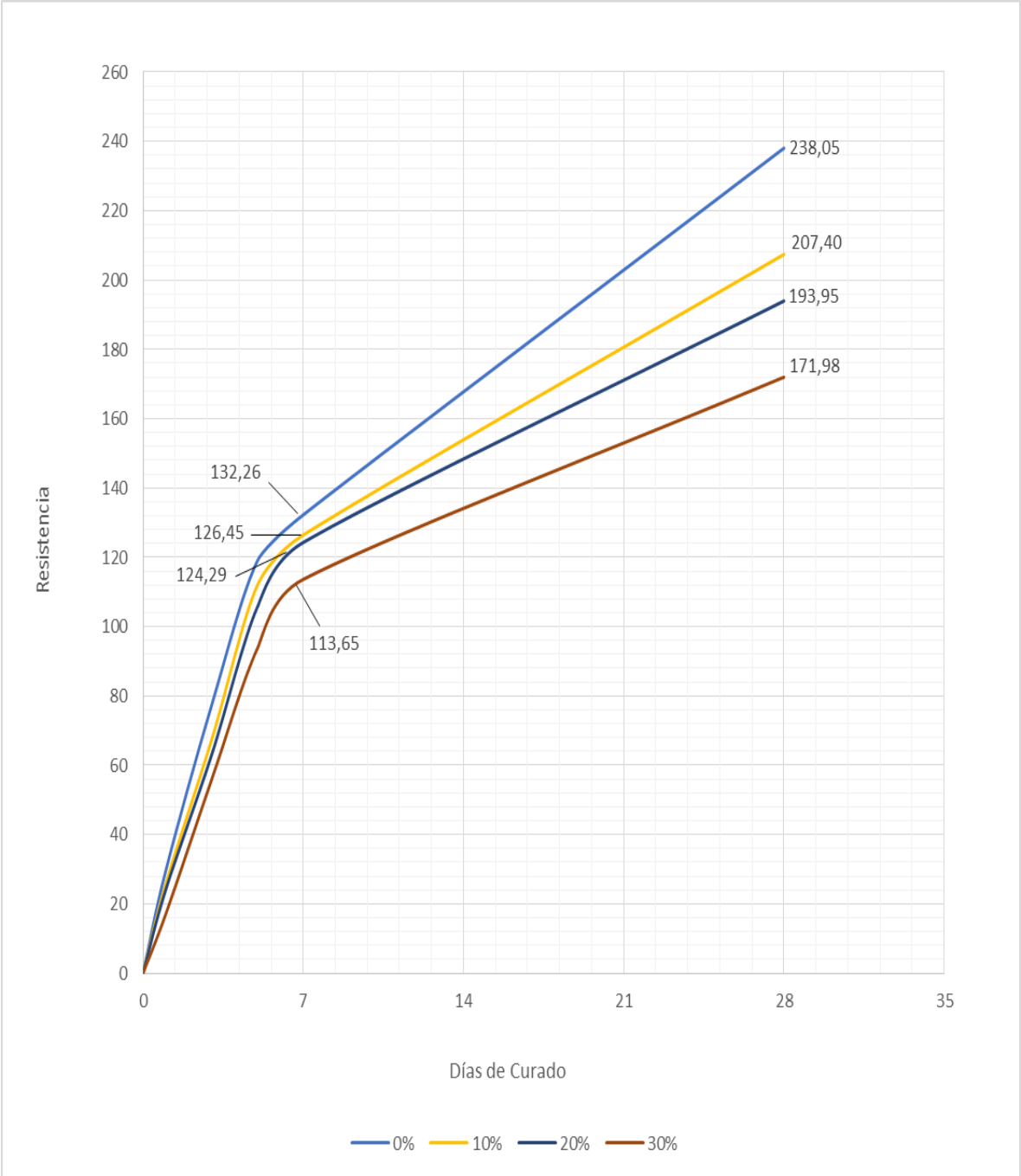


Figura 49. Relación entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.494
Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 89. Comparativa entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.445

Relación A/C	7 Días			28 Días			
	f'c Promedio	Desviación Estándar	f'r Característica	f'c Promedio	Desviación Estándar	f'r Característica	Desempeño de la Resistencia *
A/C = 0,445 (0% de Arcilla)	168,96	5,23	161,90	306,38	5,96	298,33	54,27%
A/C = 0,445 (10% de Arcilla)	160,76	2,89	156,86	265,97	3,98	260,60	60,19%
A/C = 0,445 (20% de Arcilla)	158,88	7,30	149,03	251,71	4,07	246,22	60,53%
A/C = 0,445 (30% de Arcilla)	136,30	3,07	132,16	212,59	4,72	206,22	64,08%

Elaborado por: Albán – Utreras

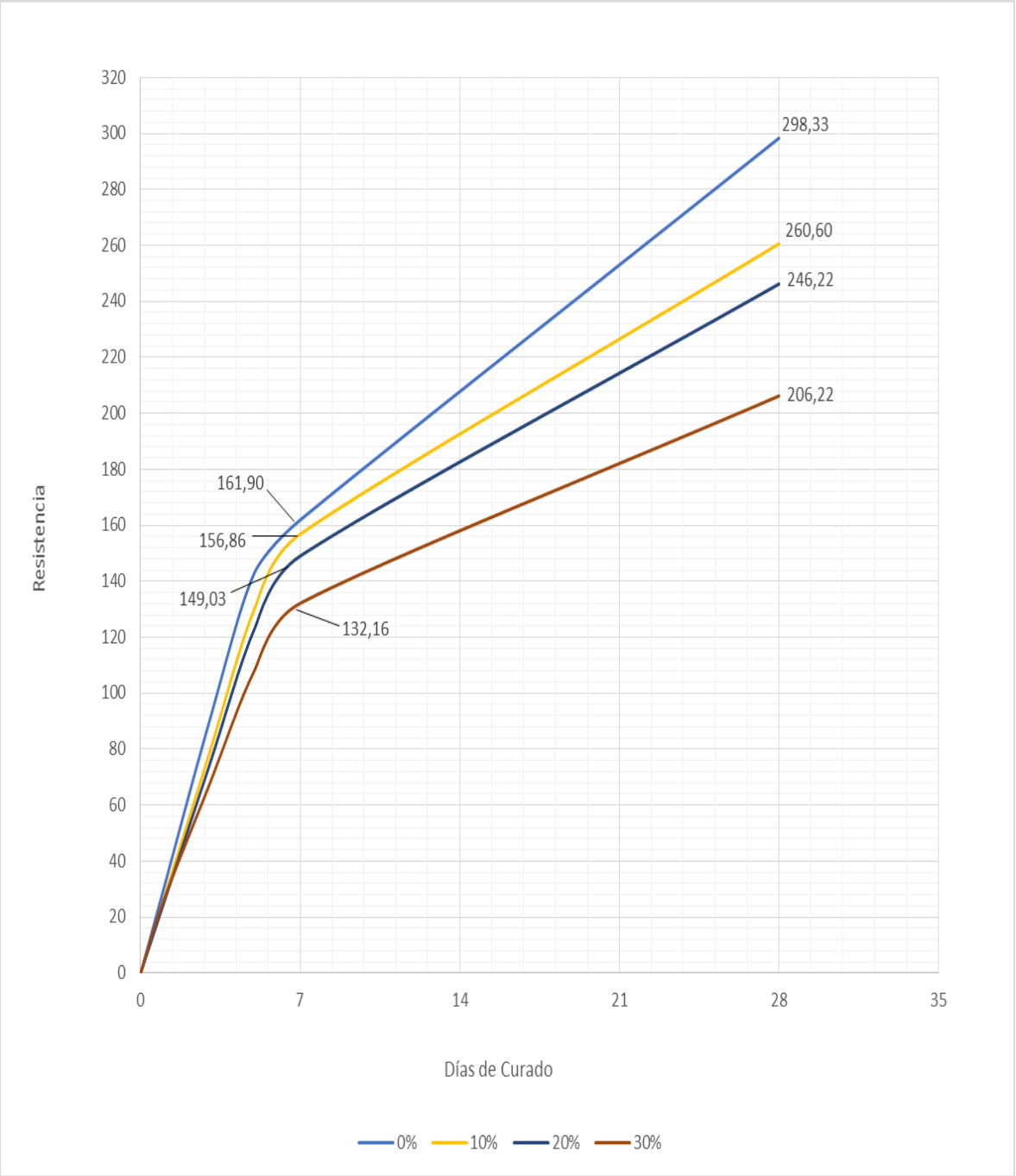


Figura 50. Relación entre la Resistencia a los 7 y 28 días para un A/C = 0.445
Elaborado por: Albán – Utreras

La norma INEN, nos presenta los tipos de falla más comunes que ocurren en las probetas cilíndricas de hormigón al momento de la rotura:

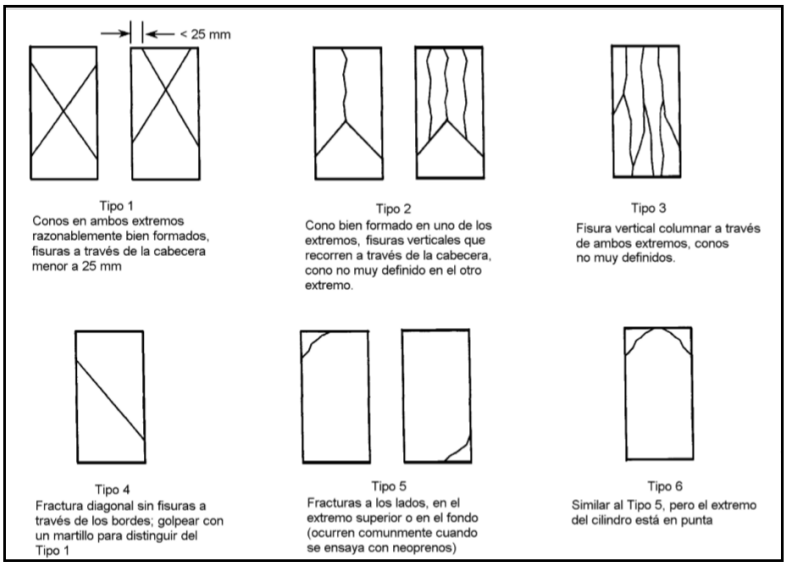


Figura 51. Modelos Típicos de Fractura
Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 1573, 2010)

3.4. Corrección por Humedad

Son necesarias correcciones para la humedad en y sobre los agregados. En la práctica, los agregados contienen una cantidad mensurable de humedad. Las masas secas de los agregados, por lo tanto, se deben aumentar para compensar la humedad que se absorbe y que se retienen en la superficie de cada partícula y entre las partículas. El agua de mezcla que se adiciona se debe reducir por la cantidad de humedad libre de los agregados. (Kosmatka et al., 2004, pág.199)

Así el agua total del concreto se puede controlar y las masas correctas de los materiales de la mezcla se pueden determinar. La estructura interna de una partícula de agregado se constituye de materia sólida y vacíos que pueden o no contener agua. (Kosmatka et al., 2004, pág.115)

Las condiciones de humedad de los agregados se las puede definir como:

- **Secado al horno:** Totalmente absorbente.

- **Secado al aire:** La superficie de las partículas está seca, pero en su interior contiene humedad y, por lo tanto, aun es ligeramente absorbente.
- **Saturado con superficie seca (SSS):** No absorben ni ceden agua al concreto.
- **Húmedos:** Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre). (Kosmatka et al., 2004, pág.115)

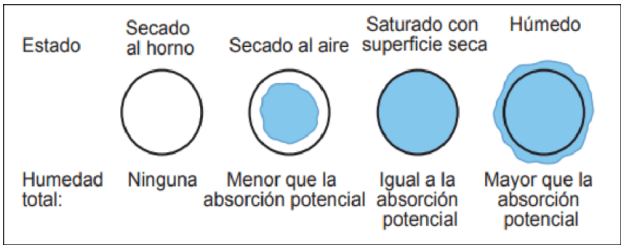


Figura 52. Condiciones de Humedad de los Agregados
Fuente: PCA (Kosmatka et al., 2004)

3.5. Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad de un material es un parámetro que mide la variación de esfuerzo en relación a la deformación en el rango elástico. Es función del ángulo de la línea esfuerzo – deformación y es una medida de la rigidez o resistencia a la deformación de dicho material. (Harmsen, 2005, p. 32)

El hormigón tiene un comportamiento inelástico, por lo que, los esfuerzos no son proporcionales a la deformación; en este caso, ha sido necesario establecer conceptos como el módulo secante y módulo tangente que intentan establecer el cálculo más apropiado del módulo de elasticidad del concreto. (Harmsen, 2005, p. 32)

El módulo tangente se define como la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo-deformación en un punto de ella. En particular, el módulo tangente que corresponde al esfuerzo nulo se denomina módulo tangente inicial. La determinación de este parámetro es difícil pues la recta tangente en el origen no está bien definida. Por su

parte, el módulo secante es la pendiente de una recta secante a la curva, que une el punto de esfuerzo cero con otro cualquiera de la curva. (Harmsen, 2005, p. 32)

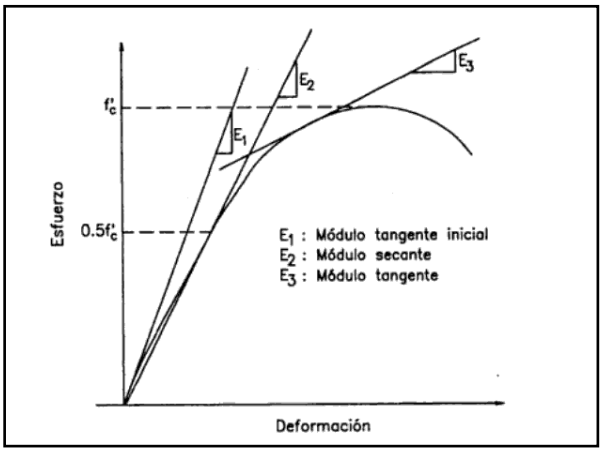


Figura 53. Módulo Tangente y Secante del Concreto
Fuente: Diseño de Estructuras de Concreto Armado (Harmsen, 2005)

Para definir el módulo de elasticidad del concreto, el ACI emplea el concepto de módulo secante y propone:

$$\boldsymbol{Ec = 0.14w^{1.5} * \sqrt{f'c}}$$

Donde:

Ec: Módulo de elasticidad del concreto.

w: Peso unitario del concreto en kg/m3. (La ecuación anterior es válida si este parámetro esta entre 1440 y 2480 kg/m3.)

f'c: Resistencia a la compresión del concreto.

Para concretos normales, con pesos unitarios de aproximadamente 2.32 ton/m3 se usa también la siguiente expresión, donde $\propto$ es igual a 15100:

$$\boldsymbol{Ec = \propto * \sqrt{f'c} \quad ; \quad Ec = 15100\sqrt{f'c}}$$

> "En el concreto no se puede establecer un módulo de elasticidad constante y su valor depende, de la intensidad de las cargas, de la fatiga de ruptura del concreto y de la permanencia de las cargas" (Pérez, 1980, p. 8).

> "Según que la carga actúe por compresión, tracción o esfuerzo cortante, se obtendrá en cada caso un módulo de elasticidad distinto, recibiendo el nombre de módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young" (Moral, 1966, p. 61).

Corrientemente el módulo de elasticidad E se calcula, partiendo de la tensión σ y de la deformación elástica Ɛ el mediante la ecuación:

$$\boldsymbol{E = \frac{\sigma}{\varepsilon elastica}}$$

3.5.1 Importancia

El módulo de elasticidad tiene una gran importancia en el campo de la ingeniería, ya que gracias a ello se pueden controlar deformaciones y rigidez en las estructuras.

Cuando un ingeniero se enfrenta al análisis… de cualquier elemento estructural, aparte de procurar que cumpla con las funciones deseadas, tiene dos preocupaciones fundamentales: que el material resista las condiciones de uso sin deteriorarse y que las deformaciones sufridas sean admisibles. (Solaguren y Fernández, 2016, p.17)

3.5.2 Equipo

Máquina de ensayo: "Usar una máquina de ensayo capaz de aplicar una carga a la velocidad y a la magnitud de 1.25mm/min" (ASTM C469, 2014, p. 1).

Compresómetro: "Para determinar el módulo de elasticidad usar un dispositivo sensor adherido o no adherido que mida con una aproximación de 5 millonésimas" (ASTM C469, 2014, p. 1).



Figura 54. Compresómetro en Ensayo
Fuente: Albán - Utreras

3.5.3 Procedimiento

El procedimiento para hallar el módulo de elasticidad se describe a continuación tal y como lo establece la norma ASTM C469:

- Colocar el espécimen de ensayo con el equipo de medición de deformación instalado en la platina de la máquina de ensayo. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro de la rótula del cabezal superior de apoyo.
- Ajustar los deformímetros antes de cada ciclo de carga, de manera que el indicador pase por el punto cero cuando la deformación unitaria longitudinal es de 50 millonésimas.
- Registrar las lecturas dadas por el deformímetro (mm) y la máquina de carga (N), lo más conveniente es tener un equipo de grabación para poder registrar la lectura lo mejor posible.

3.5.4 Cálculo del Módulo de Elasticidad

Para determinar el cálculo del módulo de elasticidad primeramente se procederá a corregir la curva, cuando la curva del ensayo no corresponde a la forma apropiada (es

decir cuando la curva universal no está entre 0,0018 y 0,0022 de la deformación unitaria), se procede a corregir usando un curvígrafo, para esto nos servirá la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{d = \frac{g * er}{(er + eg)}}$$

Donde:

d: Deformación total del espécimen a lo largo de la longiud de base efectiva, (μm).

g: Lectura del deformímetro, (μm).

er: Distancia perpendicular, medida en milímetros con una aproximación de 0.254 mm desde la barra pivote al plano vertical que pasa a través de los dos puntos de soporte del anillo rotativo.

eg: Distancia perpendicular medida en milímetros con una aproximación de 0.254 mm desde el deformímetro al plano vertical que pasa por los dos puntos de soporte del anillo rotativo. (ASTM C469, 2014, p.2)

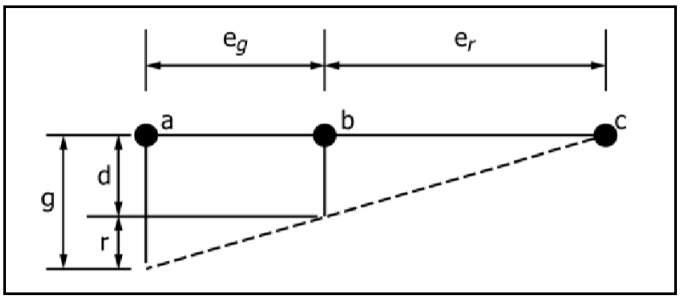


Figura 55. Diagrama de Desplazamientos
Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM C469, 2014)

- Una vez corregida las deformaciones se deberá trazar una curva esfuerzo – deformación, para esto se realizó la toma de lectura del deformímetro cada 20000 N y el esfuerzo se calculará en unidades de kg/cm2.

- Se corrige la curva mediante el uso del curvígrafo y se determina el esfuerzo S2 que corresponde al 40% del esfuerzo máximo.
- De acuerdo a la norma ASTM C469 se hace el cálculo del módulo de elasticidad mediante la siguiente fórmula.

$$\boldsymbol{E = \frac{S2 - S1}{\varepsilon 2 - 0.000050}}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad (MPa).

S2: Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última.

S1: Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal, Ɛ1, de 50 millonésimas, en MPa.

Ɛ**2**: Deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S2, en millonésimas μm.

Resultados del Módulo de Elasticidad

Tabla 90 Módulo de Elasticidad Calculado

Relación A/C = 0.53	Muestras	Ec Calculado	Promedio	Desviación Estandar	Relación A/C = 0.495	Muestras	Ec Calculado	Promedio	Desviación Estandar	Relación A/C = 0.445	Muestras	Ec Calculado	Promedio	Desviación Estandar
0% de Arcilla	No. 5	205405,62	207931,45	1783,433855	0% de Arcilla	No. 5	226351,96	225826,69	2362,429259	0% de Arcilla	No. 5	257845,22	254923,24	3259,43
	No. 6	208020,68				No. 6	228695,76				No. 6	250331,42		
	No. 7	209454,38				No. 7	225241,93				No. 7	255104,47		
	No. 8	208845,13				No. 8	223017,10				No. 8	256411,86		
10% de Arcilla	No. 5	198811,78	193716,24	7559,486851	10% de Arcilla	No. 5	199384,80	202518,51	6694,298611	10% de Arcilla	No. 5	231187,64	228893,86	2223,48
	No. 6	182690,80				No. 6	201351,56				No. 6	227865,90		
	No. 7	194902,02				No. 7	203376,67				No. 7	230224,64		
	No. 8	198460,36				No. 8	205961,02				No. 8	226297,24		
20% de Arcilla	No. 5	184529,68	182499,56	3086,821727	20% de Arcilla	No. 5	195388,37	192863,68	4062,793882	20% de Arcilla	No. 5	216447,39	216650,01	2345,74
	No. 6	178323,72				No. 6	187288,04				No. 6	217168,11		
	No. 7	182035,48				No. 7	196000,77				No. 7	213650,77		
	No. 8	185109,35				No. 8	192777,54				No. 8	219333,78		
30% de Arcilla	No. 5	161559,09	166356,66	4055,199312	30% de Arcilla	No. 5	167725,83	170705,11	2524,029936	30% de Arcilla	No. 5	187452,92	190090,83	2061,76
	No. 6	164537,19				No. 6	172469,20				No. 6	191524,55		
	No. 7	168918,80				No. 7	171920,31				No. 7	191920,40		
	No. 8	170411,56									No. 8	189465,42		

Elaborado por: Albán – Utreras

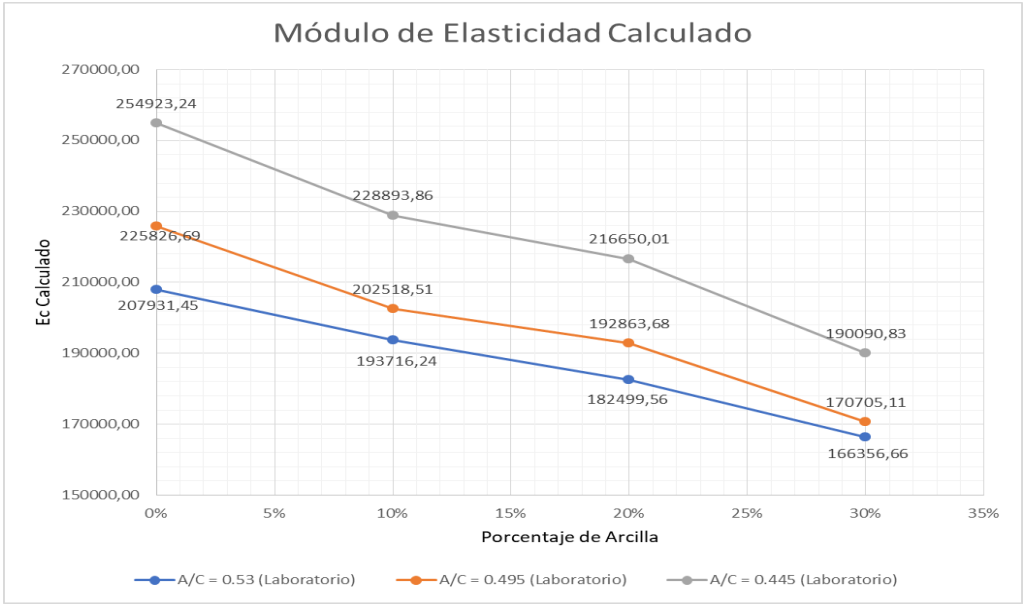


Figura 56. Gráfica comparativa de los Módulos de Elasticidad Calculados
Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 91. Tabla de Módulo de Elasticidad según ACI

Relación A/C = 0.53	Muestras	Ec ACI	Promedio	Desviación Estandar	Relación A/C = 0.495	Muestras	Ec ACI	Promedio	Desviación Estandar	Relación A/C = 0.445	Muestras	Ec ACI	Promedio	Desviación Estandar
	No. 5	210945,67				No. 5	227407,33				No. 5	259650,03		
0% de Arcilla	No. 6	210724,57	211724,73	1328,046895	0% de Arcilla	No. 6	232921,70	228245,80	3206,578263	0% de Arcilla	No. 6	254849,70	257514,28	2514,11
	No. 7	213639,29				No. 7	227003,98				No. 7	255886,47		
	No. 8	211589,41				No. 8	225650,19				No. 8	259670,92		
	No. 5	203995,87				No. 5	203120,51				No. 5	235138,59		
10% de Arcilla	No. 6	190589,62	198973,33	5967,72774	10% de Arcilla	No. 6	206858,25	207269,27	3056,690156	10% de Arcilla	No. 6	232750,85	233130,08	1997,84
	No. 7	198968,66				No. 7	209193,37				No. 7	234113,88		
	No. 8	202339,16				No. 8	209904,94				No. 8	230516,99		
	No. 5	190254,22				No. 5	196619,74				No. 5	219574,51		
20% de Arcilla	No. 6	181559,81	186048,96	3606,999081	20% de Arcilla	No. 6	192525,89	196680,00	3486,398027	20% de Arcilla	No. 6	219403,72	219881,57	1772,31
	No. 7	185431,20				No. 7	201059,21				No. 7	218177,30		
	No. 8	186950,62				No. 8	196515,16				No. 8	222370,76		
	No. 5	168320,10				No. 5	172495,57				No. 5	191346,32		
30% de Arcilla	No. 6	168963,69	171584,33	3953,912574	30% de Arcilla	No. 6	177232,86	175284,61	2478,03854	30% de Arcilla	No. 6	193565,37	192611,98	2144,45
	No. 7	172071,02				No. 7	176125,40				No. 7	195138,39		
	No. 8	176982,52									No. 8	190397,84		

Elaborado por: Albán – Utreras

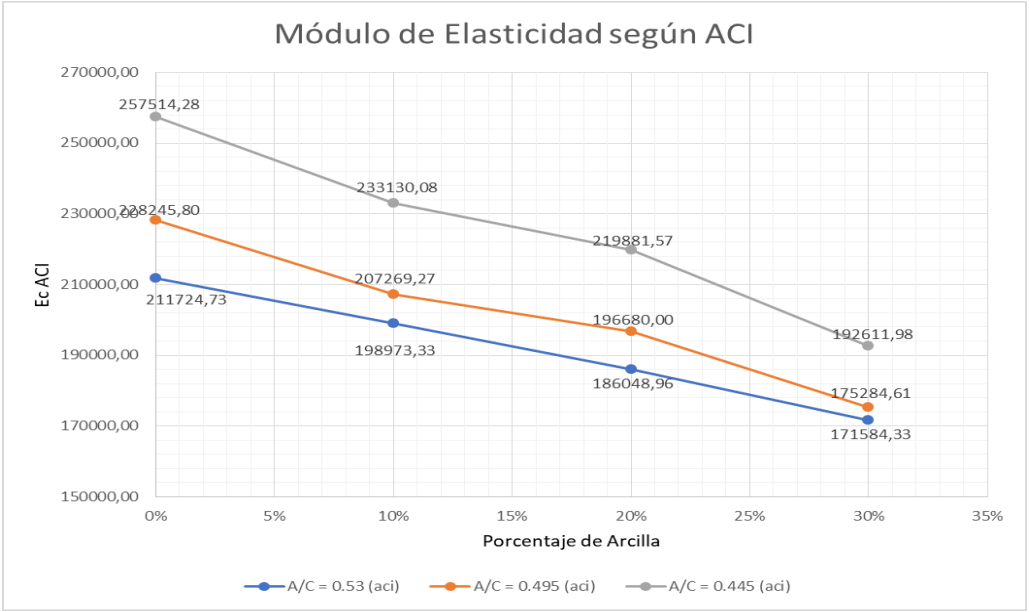


Figura 57. Gráfica comparativa de los Módulos de Elasticidad según ACI
Elaborado por: Albán - Utreras

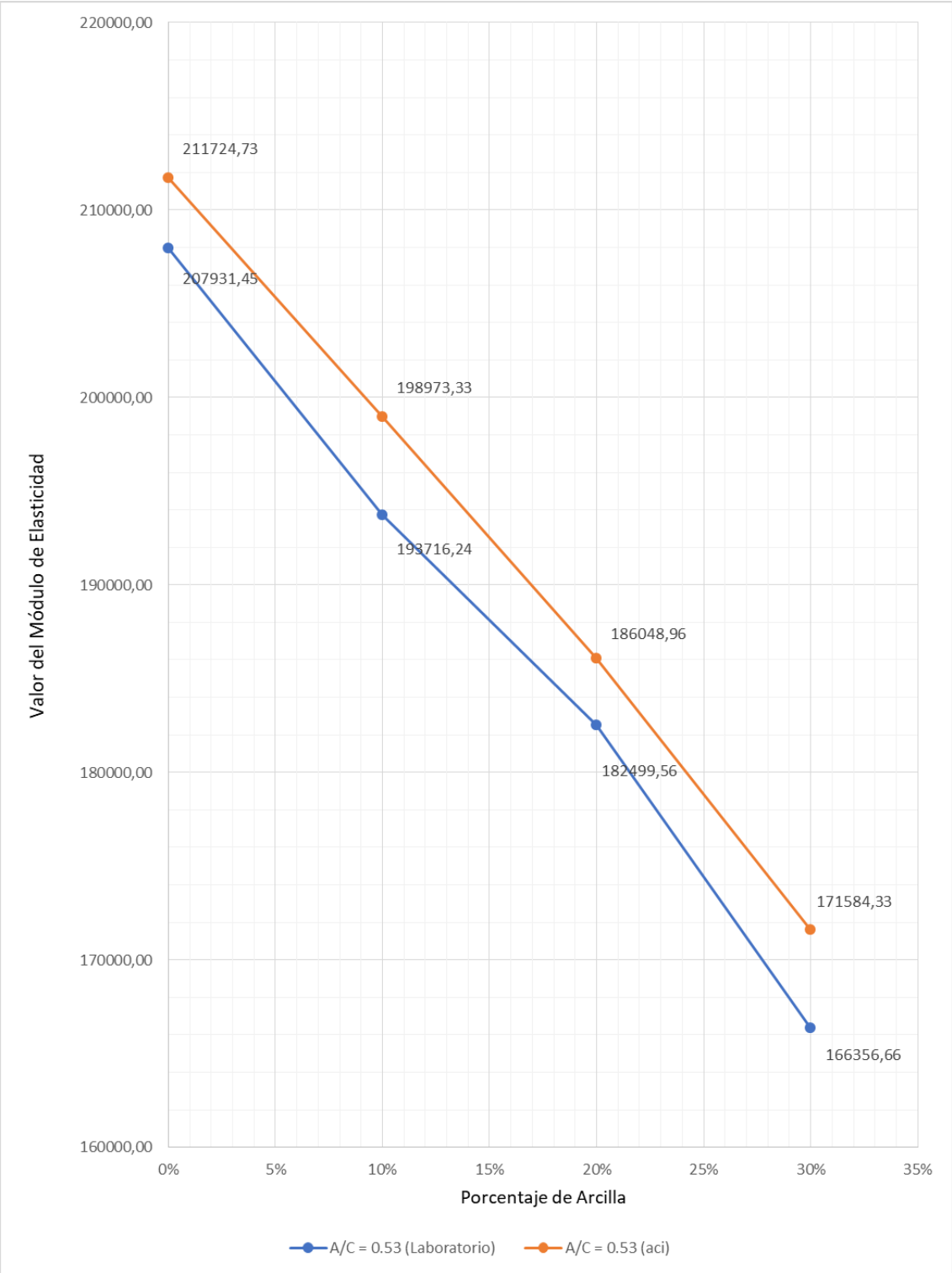


Figura 58. Módulo de Elasticidad para una A/C= 0.53
Elaborado por: Albán – Utreras

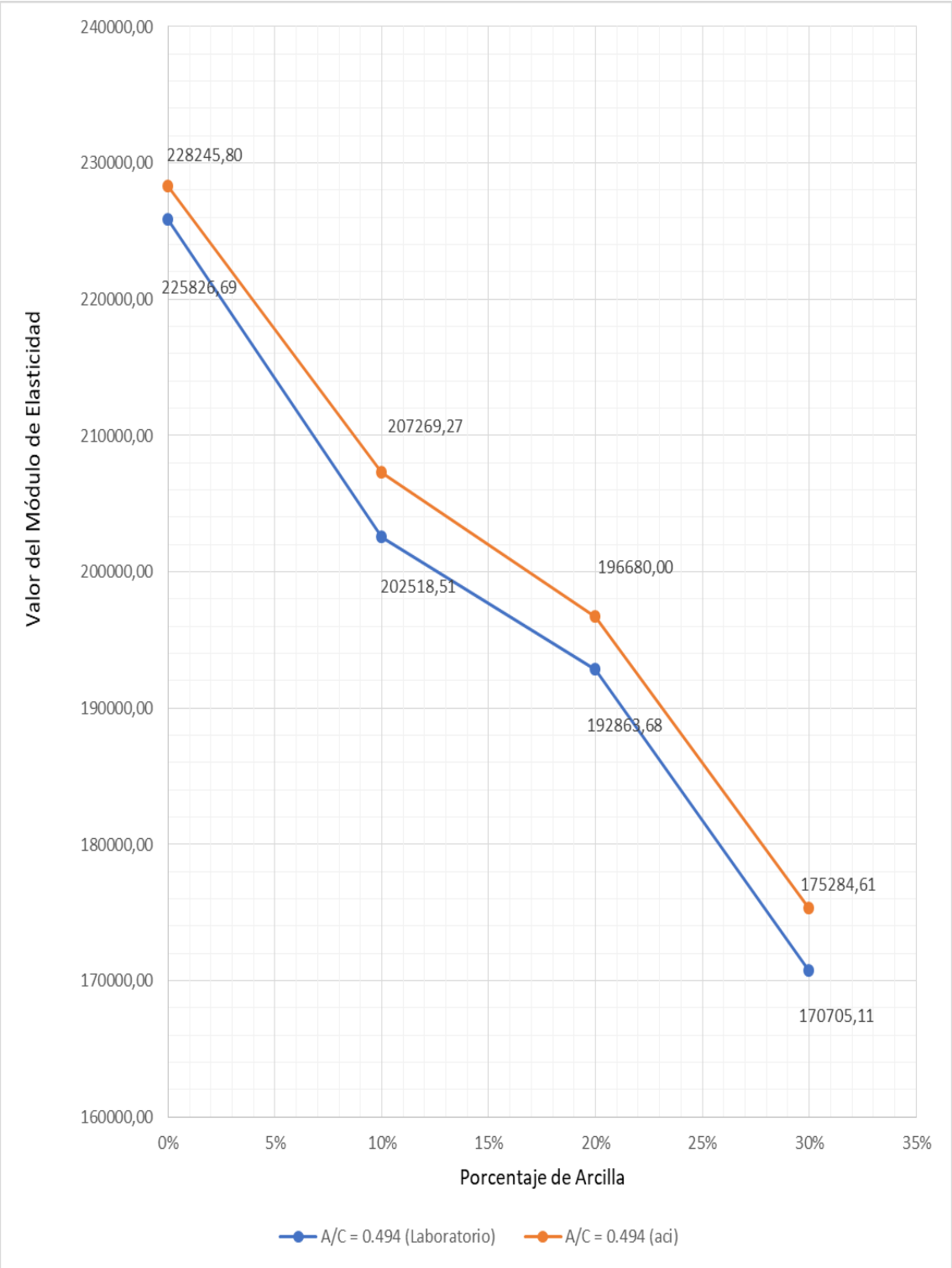


Figura 59. Módulo de Elasticidad para una A/C= 0.494
Elaborado por: Albán – Utreras

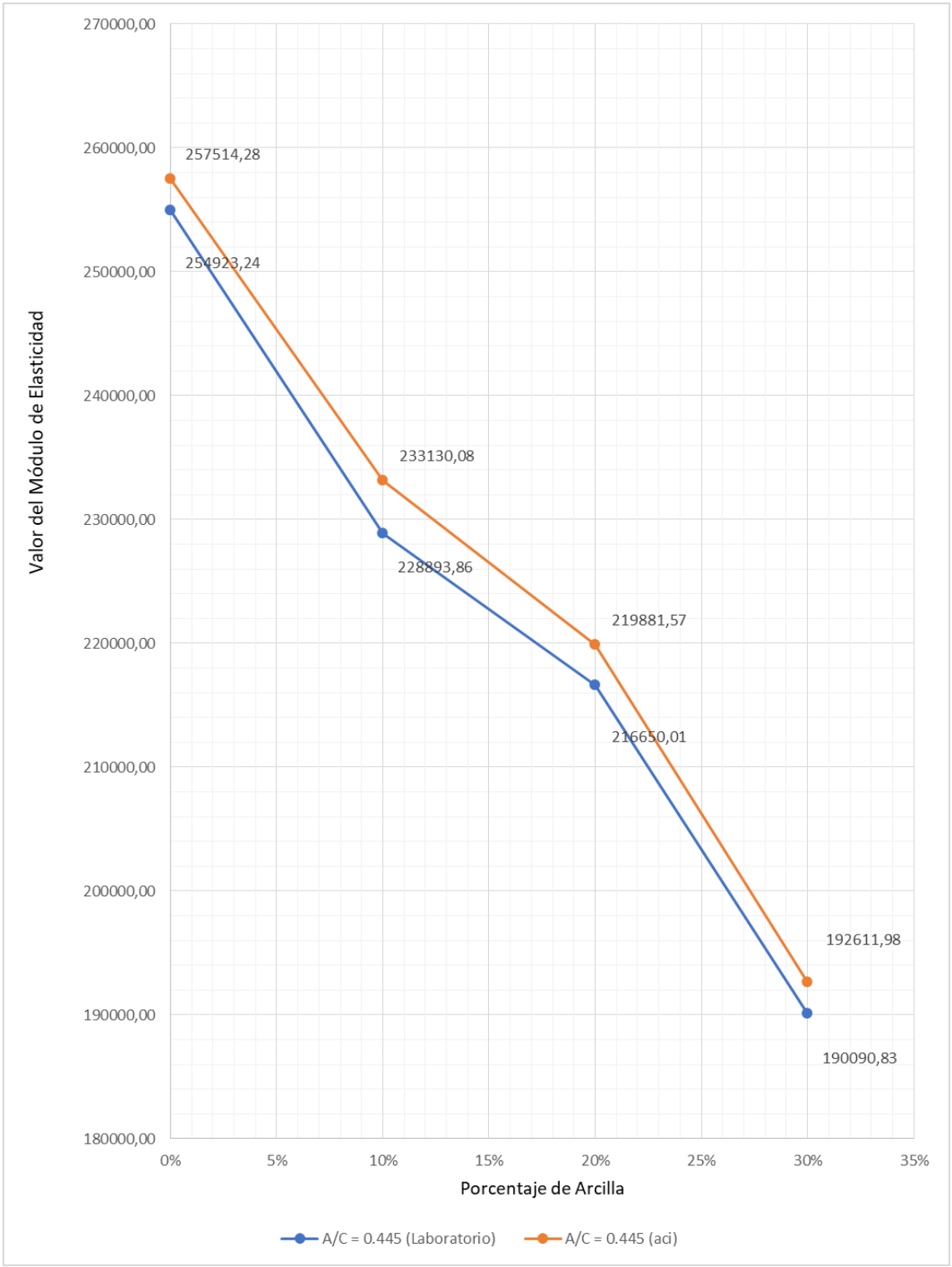


Figura 60. Módulo de Elasticidad para una A/C= 0.445
Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 92. Valor de Alfa Calculado

Relación A/C = 0.53	Muestras	α Calculado	Promedio	Desviación Estandar	**Relación A/C = 0.495**	Muestras	α Calculado	Promedio	Desviación Estandar	**Relación A/C = 0.445**	Muestras	α Calculado	Promedio	Desviación Estandar
0% de Arcilla	No. 5	14032,77	14105,90	92,1248445	**0% de Arcilla**	No. 5	14497,65	14411,52	84,76149677	**0% de Arcilla**	No. 5	14607,86	14561,95	94,47
	No. 6	14226,33				No. 6	14300,98				No. 6	14449,31		
	No. 7	14034,86				No. 7	14452,18				No. 7	14665,15		
	No. 8	14129,61				No. 8	14395,28				No. 8	14525,48		
10% de Arcilla	No. 5	13635,05	13618,22	143,3459814	**10% de Arcilla**	No. 5	13845,49	13781,88	70,58784757	**10% de Arcilla**	No. 5	14027,65	14008,04	28,83
	No. 6	13410,77				No. 6	13729,42				No. 6	13967,94		
	No. 7	13704,65				No. 7	13712,71				No. 7	14030,36		
	No. 8	13722,40				No. 8	13839,89				No. 8	14006,21		
20% de Arcilla	No. 5	13211,38	13362,17	113,5713899	**20% de Arcilla**	No. 5	13695,52	13514,30	129,9783686	**20% de Arcilla**	No. 5	13660,27	13653,79	61,04
	No. 6	13378,45				No. 6	13406,88				No. 6	13716,42		
	No. 7	13371,79				No. 7	13435,09				No. 7	13570,12		
	No. 8	13487,07				No. 8	13519,70				No. 8	13668,36		
30% de Arcilla	No. 5	12525,95	12652,73	131,4253677	**30% de Arcilla**	No. 5	12797,90	12817,86	26,25373878	**30% de Arcilla**	No. 5	12939,72	13035,85	89,53
	No. 6	12708,26				No. 6	12808,08				No. 6	13069,22		
	No. 7	12811,08				No. 7	12847,60				No. 7	12990,66		
	No. 8	12565,63									No. 8	13143,80		

Elaborado por: Albán – Utreras

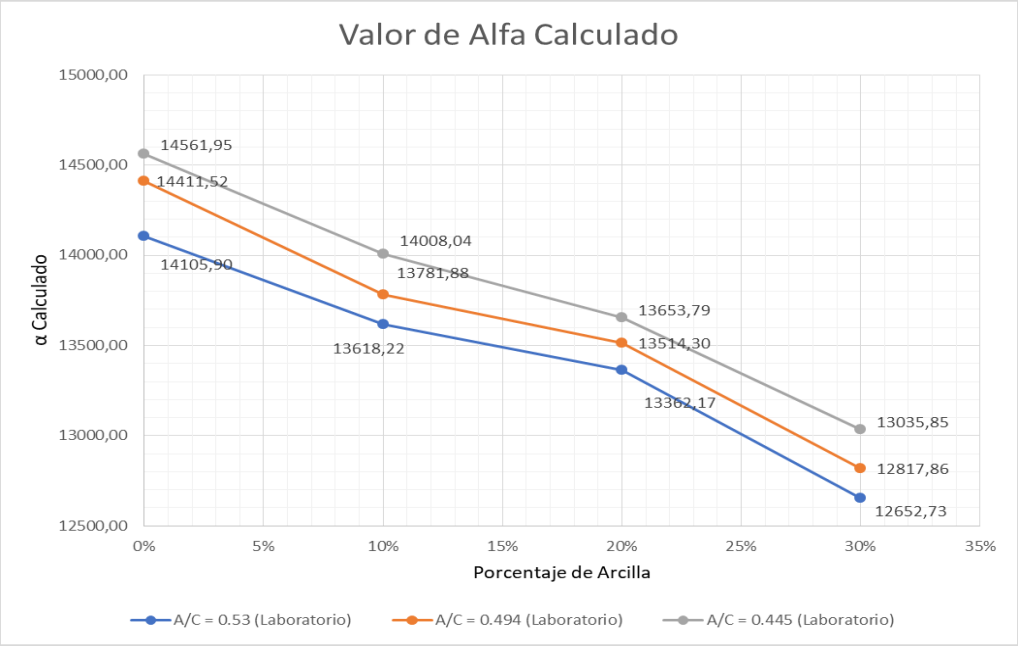


Figura 61. Gráfica comparativa de los valores de Alfa Calculado
Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 93. Valores de Alfa según ACI

Relación A/C = 0.53	Muestras	α ACI	Promedio	Desviación Estandar	**Relación A/C = 0.495**	Muestras	α ACI	Promedio	Desviación Estandar	**Relación A/C = 0.445**	Muestras	α ACI	Promedio	Desviación Estandar
0% de Arcilla	No. 5	14411,25	14411,25	0	**0% de Arcilla**	No. 5	14565,24	14565,24	0	**0% de Arcilla**	No. 5	14710,11	14710,11	0
	No. 6	14411,25				No. 6	14565,24				No. 6	14710,11		
	No. 7	14411,25				No. 7	14565,24				No. 7	14710,11		
	No. 8	14411,25				No. 8	14565,24				No. 8	14710,11		
10% de Arcilla	No. 5	13990,59	13990,59	0	**10% de Arcilla**	No. 5	14104,91	14104,91	0	**10% de Arcilla**	No. 5	14267,38	14267,38	0
	No. 6	13990,59				No. 6	14104,91				No. 6	14267,38		
	No. 7	13990,59				No. 7	14104,91				No. 7	14267,38		
	No. 8	13990,59				No. 8	14104,91				No. 8	14267,38		
20% de Arcilla	No. 5	13621,23	13621,23	1,05019E-12	**20% de Arcilla**	No. 5	13781,83	13781,83	0	**20% de Arcilla**	No. 5	13857,62	13857,62	0
	No. 6	13621,23				No. 6	13781,83				No. 6	13857,62		
	No. 7	13621,23				No. 7	13781,83				No. 7	13857,62		
	No. 8	13621,23				No. 8	13781,83				No. 8	13857,62		
30% de Arcilla	No. 5	13050,15	13050,15	0	**30% de Arcilla**	No. 5	13161,85	13161,85	0	**30% de Arcilla**	No. 5	13208,48	13208,48	0
	No. 6	13050,15				No. 6	13161,85				No. 6	13208,48		
	No. 7	13050,15				No. 7	13161,85				No. 7	13208,48		
	No. 8	13050,15									No. 8	13208,48		

Elaborado por: Albán – Utreras

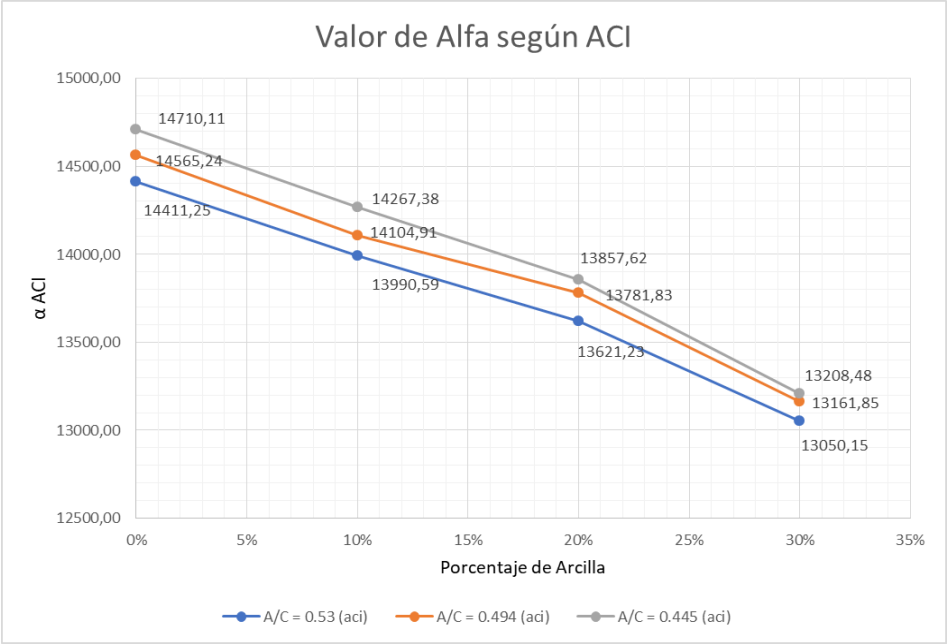


Figura 62. Gráfica comparativa de los valores de Alfa según ACI
Elaborado por: Albán - Utreras



Figura 63. Valores de α para una A/C= 0.53
Elaborado por: Albán – Utreras



Figura 64. Valores de α para una A/C= 0.494
Elaborado por: Albán – Utreras



Figura 65. Valores de α para una A/C= 0.445
Elaborado por: Albán – Utreras

3.6. Ensayo a Flexión de Viguetas

Este ensayo tiene como objetivo, determinar la resistencia a la flexión de una viga de hormigón simplemente apoyada en los extremos, sometida a carga en los tercios medios de la luz libre. La resistencia de la viga ensayada puede variar por diferentes factores como las condiciones de humedad, el curado, el método de vibración, etc… (NTE INEN 2554, 2011).

El método que se utilizará para determinar la resistencia a la flexión en vigas de hormigón es el siguiente:

Los bloques de carga y los bloques de soporte serán diseñados para que las fuerzas aplicadas a la viga sean a lo largo de líneas perpendicular a las caras laterales de la viga y aplicado sin excentricidad. Un diagrama del aparato de prueba de flexión es se muestra en la (figura 1). (ASTM C78, 2018, pág. 2)

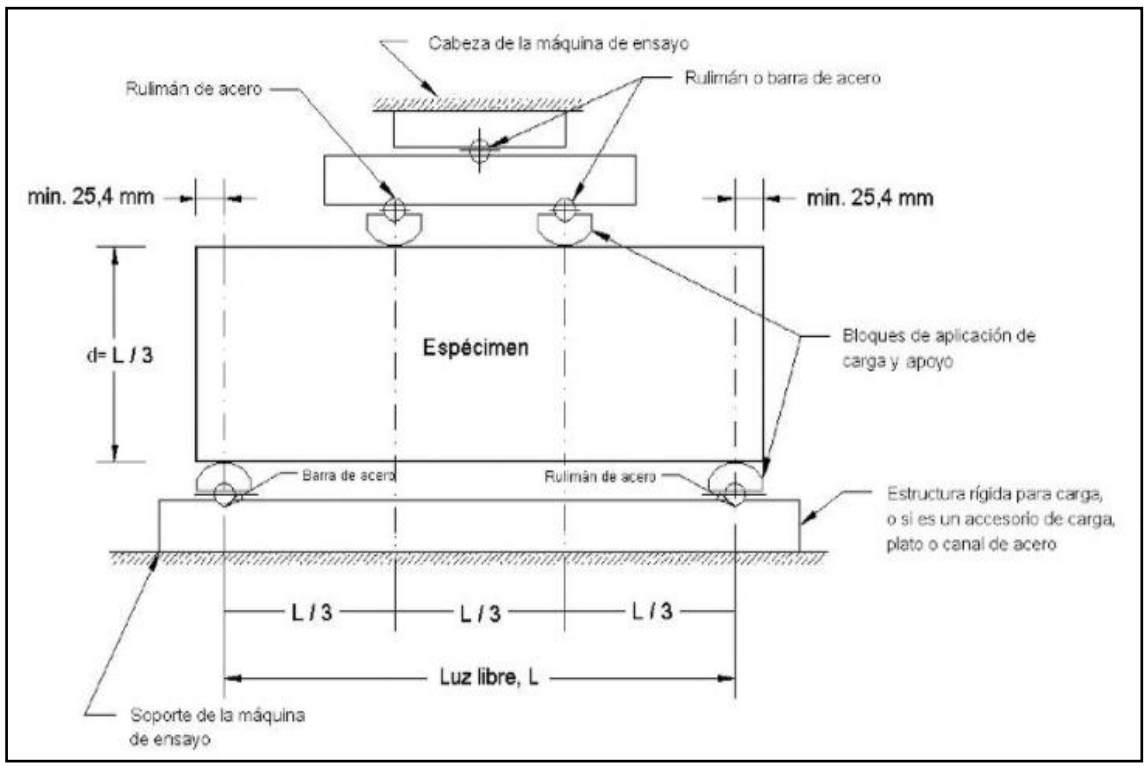


Figura 66. Esquema del Aparato Para el Ensayo de Flexión de Viguetas
Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM C78, 2018)

3.6.1 Resultados del ensayo de flexión en viguetas

Relación A/C = 0.53 Muestra Original

Tabla 94. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C =0.53 Muestra Original

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	26/11/2019	26/11/2019	26/11/2019	26/11/2019
Fecha de Ensayo	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019	24/12/2019
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	554	535	535	535
Ancho (mm)	150	152	150	150
Altura (mm)	150	151	150	150
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	27.58	27.76	27.17	27.52
Carga máxima (N)	30632	30842	30080	28666
Resistencia (MPa)	4.08	4.00	4.01	3.82
Resistencia (Kg/cm2)	41.65	40.84	40.90	38.98

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.53 con 10 % de Arcilla

Tabla 95. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C =0.53 con 10% de Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53 con 10% de Arlita				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019
Fecha de Ensayo	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	534	535	534	540
Ancho (mm)	150.4	150.64	150.1	150.3
Altura (mm)	151.2	150.3	150.6	150.7
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	27.68	27.32	27.34	27.78
Carga máxima (N)	29532	32254	27825	32698
Resistencia (MPa)	3.87	4.27	3.68	4.31
Resistencia (Kg/cm2)	39.41	43.49	37.51	43.96

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.53 con 20 % de Arcilla

Tabla 96. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C =0.53 con 20% de Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53 con 20% de Arlita				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019
Fecha de Ensayo	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	538	535	535	532
Ancho (mm)	150.3	150.07	150.25	151.67
Altura (mm)	150.55	150.12	151.35	150.32
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	26.39	26.06	26.21	26.38
Carga máxima (N)	26612	28445	26279	29028
Resistencia (MPa)	3.52	3.78	3.44	3.81
Resistencia (Kg/cm2)	35.85	38.59	35.04	38.87

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.53 con 30 % de Arcilla

Tabla 97. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C =0.53 con 30% de Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,53 con 30% de Arlita				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019	18/12/2019
Fecha de Ensayo	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020	15/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	532	560	535	535
Ancho (mm)	150.04	150.45	150.63	150.37
Altura (mm)	150.09	150.36	151.65	150.95
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	25.68	27.2	25.49	25.4
Carga máxima (N)	26155	26325	25033	25093
Resistencia (MPa)	3.48	3.48	3.25	3.30
Resistencia (Kg/cm2)	35.51	35.51	33.16	33.61

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.494 Muestra Original

Tabla 98. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.494 Muestra Original

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	27/11/2019	27/11/2019	27/11/2019	27/11/2019
Fecha de Ensayo	25/12/2019	25/12/2019	25/12/2019	25/12/2019
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	554	535	535	535
Ancho (mm)	150.12	150.39	150.24	151.04
Altura (mm)	150.69	151.45	151.34	151.51
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	27.36	27.4	27.48	27.66
Carga máxima (N)	33315	35661	34815	33511
Resistencia (MPa)	4.40	4.65	4.55	4.35
Resistencia (Kg/cm2)	44.85	47.44	46.43	44.35

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.494 con 10 % de Arcilla

Tabla 99. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.494 con 10% de Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494 con 10% de Arlita				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019
Fecha de Ensayo	16/1/2020	16/1/2020	16/1/2020	16/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	534	535	540	534
Ancho (mm)	152.26	150.82	150.57	150.34
Altura (mm)	148.98	153.58	150.54	151.4
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	26.94	26.91	27.06	26.66
Carga máxima (N)	36072	32096	34120	34715
Resistencia (MPa)	4.80	4.06	4.50	4.53
Resistencia (Kg/cm2)	48.98	41.40	45.88	46.23

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.494 con 20 % de Arcilla

Tabla 100. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.494 con 20% de Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494 con 20% de Arlita				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019
Fecha de Ensayo	16/1/2020	16/1/2020	16/1/2020	16/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	534	535	535	538
Ancho (mm)	150.54	150.07	150.77	150.68
Altura (mm)	151.4	150.12	150.37	150.43
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	26.56	26.88	26.3	26.1
Carga máxima (N)	30533	30533	32641	28581
Resistencia (MPa)	3.98	4.06	4.31	3.77
Resistencia (Kg/cm2)	40.60	41.43	43.94	38.46

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.494 con 30% de Arcilla

Tabla 101. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.494 con 30% de Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,494 con 30% de Arlita				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019	19/12/2019
Fecha de Ensayo	16/1/2020	16/1/2020	16/1/2020	16/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	556	532	535	532
Ancho (mm)	151.78	149.69	150.99	149.7
Altura (mm)	151.8	151.23	149.73	151.87
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	27.07	25.56	25.52	25.64
Carga máxima (N)	27068	28521	27521	30105
Resistencia (MPa)	3.48	3.75	3.66	3.92
Resistencia (Kg/cm2)	35.51	38.23	37.31	40.01

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.445 Muestra Original

Tabla 102. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.445 Muestra Original

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**III**
Fecha de Fabricación	3/12/2019	3/12/2019	3/12/2019	3/12/2019
Fecha de Ensayo	6/1/2020	6/1/2020	6/1/2020	6/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	532	535	535	535
Ancho (mm)	150.42	150.39	150.32	150.62
Altura (mm)	150.24	151.45	151.87	150.12
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	27.48	27.44	27.44	27.21
Carga máxima (N)	35652	35406	37727	35035
Resistencia (MPa)	4.73	4.62	4.90	4.64
Resistencia (Kg/cm2)	48.18	47.10	49.93	47.36

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.445 con 10 % de Arcilla

Tabla 103. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.445 con 10% de Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445 con 10% de Arlita				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019
Fecha de Ensayo	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	536	533	536	534
Ancho (mm)	152.13	152.82	150.43	150.85
Altura (mm)	151.98	149.43	150.24	152.74
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	27.23	27.73	26.77	27.57
Carga máxima (N)	33371	42024	37131	36598
Resistencia (MPa)	4.27	5.54	4.92	4.68
Resistencia (Kg/cm2)	43.58	56.51	50.18	47.72

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.445 con 20 % de Arcilla

Tabla 104. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.445con 20% de Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445 con 20% de Arlita				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019
Fecha de Ensayo	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	533	534	535	534
Ancho (mm)	149.56	151.89	150.49	150.98
Altura (mm)	149.62	151.28	150.81	151.49
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	26.48	26.23	25.26	26.55
Carga máxima (N)	39910	35093	35093	39653
Resistencia (MPa)	5.36	4.54	4.61	5.15
Resistencia (Kg/cm2)	54.70	46.33	47.05	52.51

Elaborado por: Albán – Utreras

Relación A/C = 0.445 con 30 % de Arcilla

Tabla 105. Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días para una A/C = 0.445con 30% de Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS				
LOCALIZACIÓN:	PIFO	AUTORES:	JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA:	HOLCIM PIFO		ISRAEL UTRERAS	
Relación A/C = 0,445 con 30% de Arlita				
Muestra	**I**	**II**	**III**	**IV**
Fecha de Fabricación	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019	20/12/2019
Fecha de Ensayo	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020	17/1/2020
Días de Curación	28	28	28	28
Longitud (mm)	536	556	534	534
Ancho (mm)	154.53	152.76	153.62	150.6
Altura (mm)	150.56	150.96	150.45	151.61
Longitud de Apoyo (mm)	450	450	450	450
Masa (Kg)	26.23	27.06	25.95	25.61
Carga máxima (N)	36018	30991	32896	30911
Resistencia (MPa)	4.63	4.01	4.26	4.02
Resistencia (Kg/cm2)	47.18	40.85	43.41	40.98

Elaborado por: Albán – Utreras

Resumen

Tabla 106. Cuadro de Resultados del Ensayo a Flexión a los 28 días con los Porcentajes Arcilla

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS

LOCALIZACIÓN: PIFO — AUTORES: JORGE LUIS ALBAN
CANTERA: HOLCIM PIFO — ISRAEL UTRERAS

Cuadro Resumen

Relación A/C	Porcentaje de Arcilla	Muestra (kg/cm2) I	II	III	III	f'c Promedio	Desviación Estándar	f'r Característica	% Disminución de f'c
A/C= 0.53	0%	41,65	40,84	40,90	38,98	40,59	1,14	39,05	-
	10%	39,41	43,49	37,51	43,96	41,09	3,14	36,85	5,65
	20%	35,85	38,59	35,04	38,87	37,09	1,93	34,48	11,71
	30%	35,51	35,51	33,16	33,61	34,45	1,24	32,77	16,09
		I	**II**	**III**	**III**	f'c Promedio	Desviación Estándar	f'r Característica	% Disminución de f'c
A/C= 0.494	0%	44,85	47,44	46,43	44,35	45,77	1,42	43,84	-
	10%	48,98	41,40	45,88	46,23	45,62	3,14	41,39	5,60
	20%	40,60	41,43	43,94	38,46	41,11	2,26	38,05	13,21
	30%	35,51	38,23	37,31	40,01	37,76	1,87	35,24	19,63
		I	**II**	**III**	**III**	f'c Promedio	Desviación Estándar	f'r Característica	% Disminución de f'c
A/C= 0.445	0%	48,18	47,10	49,93	47,36	48,14	1,28	46,42	-
	10%	54,70	46,33	47,05	52,51	50,15	4,10	44,61	3,90
	20%	43,58	56,51	50,18	47,72	49,50	5,41	42,19	9,11
	30%	47,18	40,85	43,41	40,98	43,10	2,96	39,10	15,76

Elaborado por: Albán – Utreras

Gráficas de Resistencia con Porcentaje de Arcilla, Viguetas Ensayadas a los 28 días:

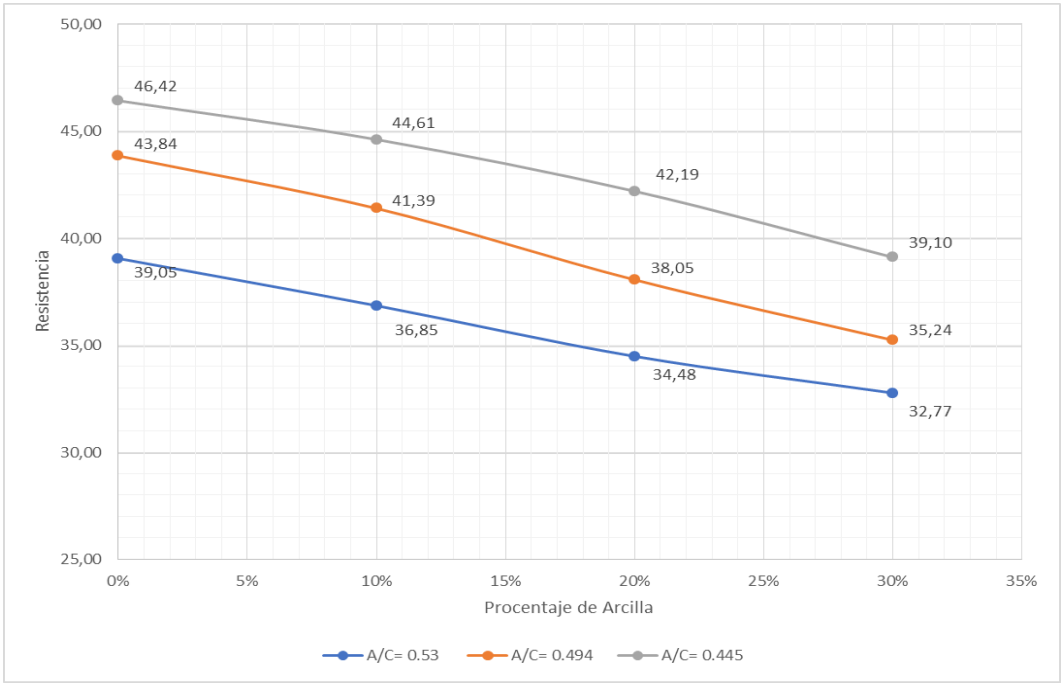


Figura 67. Resistencia a los 28 días en el Ensayo a Flexión de Viguetas
Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 107. Resumen de Resistencias de Tracción por Flexión de Viguetas y Comparación con Esfuerzos a Compresión con a/c = 0.53

		Flexión de viguetas (kg/cm2)		Compresión de cilindros (kg/cm2)		Flexión/Compresión	
Relacion A/C	**% de arcilla**	**f'c Promedio**	**f'r Característica**	**f'c Promedio**	**f'r Característica**	**f'c Promedio**	**f'r Característica**
A/C= 0.53	0%	40,59	39,05	220,21	214,73	18,43	18,19
	10%	41,09	36,85	202,40	186,18	20,30	19,79
	20%	37,09	34,48	186,61	176,86	19,87	19,50
	30%	35,45	32,77	172,94	162,11	20,50	20,21

Elaborado por: Albán – Utreras

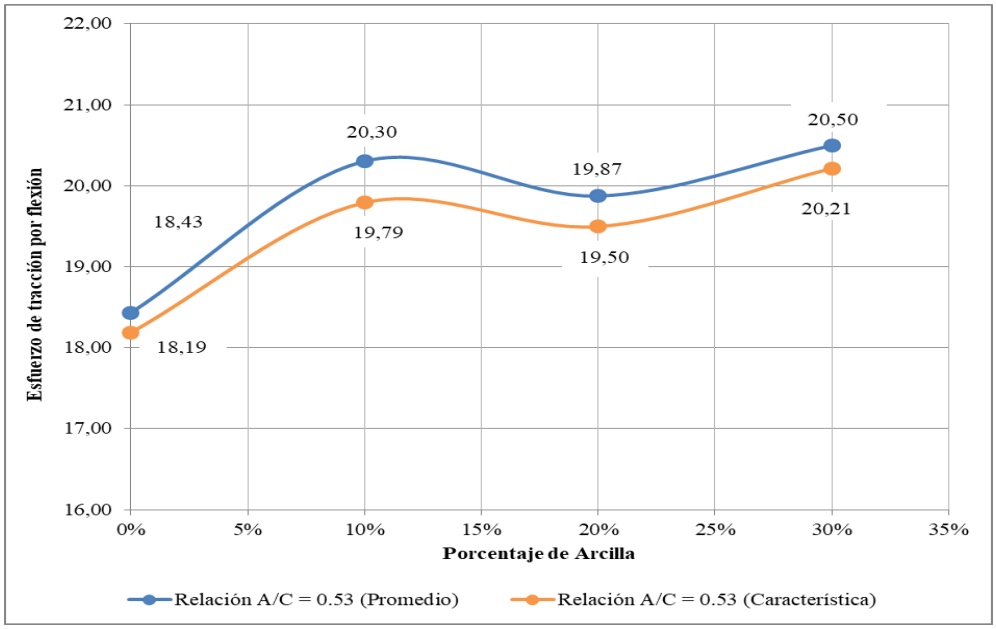


Figura 68. Resistencia a la Tracción por Flexión de Vigas a 28 días con una a/c=0.53
Elaborado por: Albán – Utreras

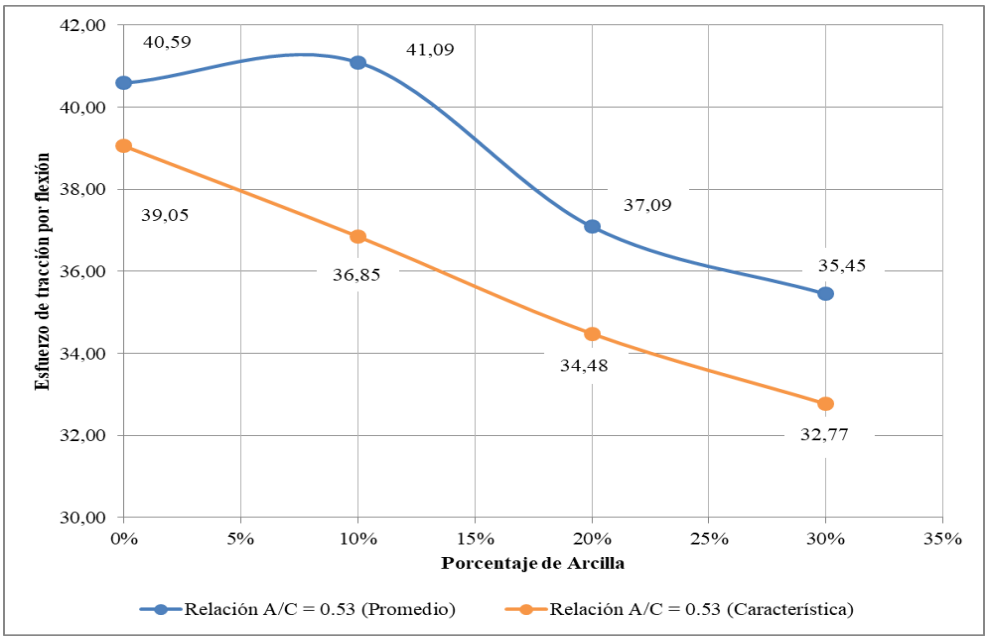


Figura 69. Relación de Esfuerzos a tracción por Flexión de Vigas / Esfuerzo a Compresión para una Relación a/c= 0,53
Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 108. Resumen de Resistencias de Tracción por Flexión de Viguetas y Comparación con Esfuerzos a Compresión con a/c = 0.494

		Flexión de viguetas (kg/cm2)		Compresión de cilindros (kg/cm2)		Flexión/Compresión	
		f'c Promedio	f'r Característica	f'c Promedio	f'r Característica	f'c Promedio	f'r Característica
A/C= 0.494	0%	45,77	43,84	248,17	238,04	18,44	18,42
	10%	45,62	41,39	215,97	207,41	21,12	19,95
	20%	41,11	38,05	203,71	193,95	20,18	19,62
	30%	37,76	35,24	179,00	171,97	21,10	20,49

Elaborado por: Albán – Utreras

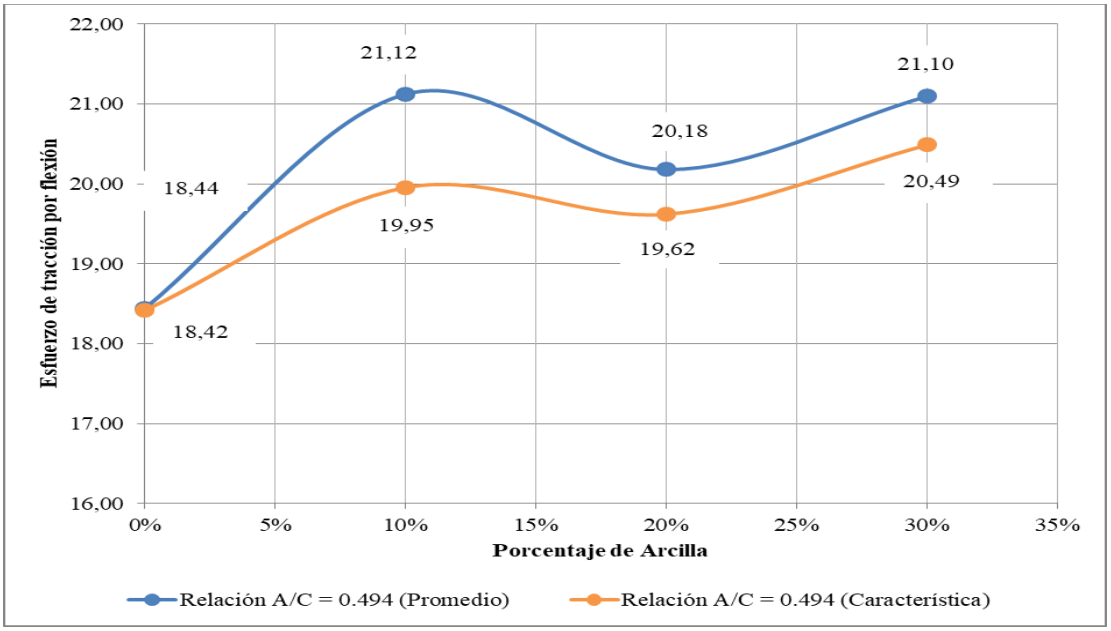


Figura 70. Resistencia a la Tracción por Flexión de Vigas a 28 días con a/c=0.494

Elaborado por: Albán – Utreras

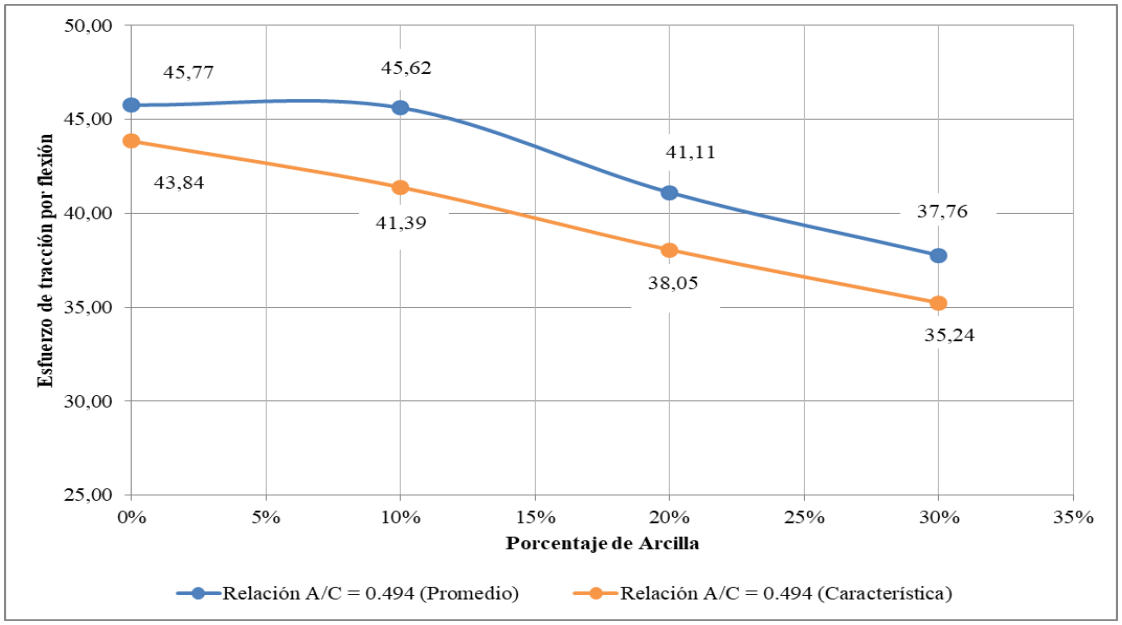


Figura 71. Relación de Esfuerzos a tracción por Flexión de Vigas / Esfuerzo a Compresión para una Relación a/c= 0,495

Elaborado por: Albán – Utreras

Tabla 109. Resumen de Resistencias de Tracción por Flexión de Viguetas y Comparación con Esfuerzos a Compresión con a/c = 0.445

		Flexión de viguetas (kg/cm2)		Compresión de cilindros (kg/cm2)		Flexión/Compresión	
		f'c Promedio	f'r Característica	f'c Promedio	f'r Característica	f'c Promedio	f'r Característica
A/C= 0.445	0%	48,14	46,42	306,38	298,33	15,71	15,56
	10%	50,70	45,61	265,97	260,60	19,06	17,50
	20%	48,50	42,19	251,71	246,22	19,27	17,14
	30%	43,10	39,10	212,59	206,22	20,28	18,96

Elaborado por: Albán – Utreras

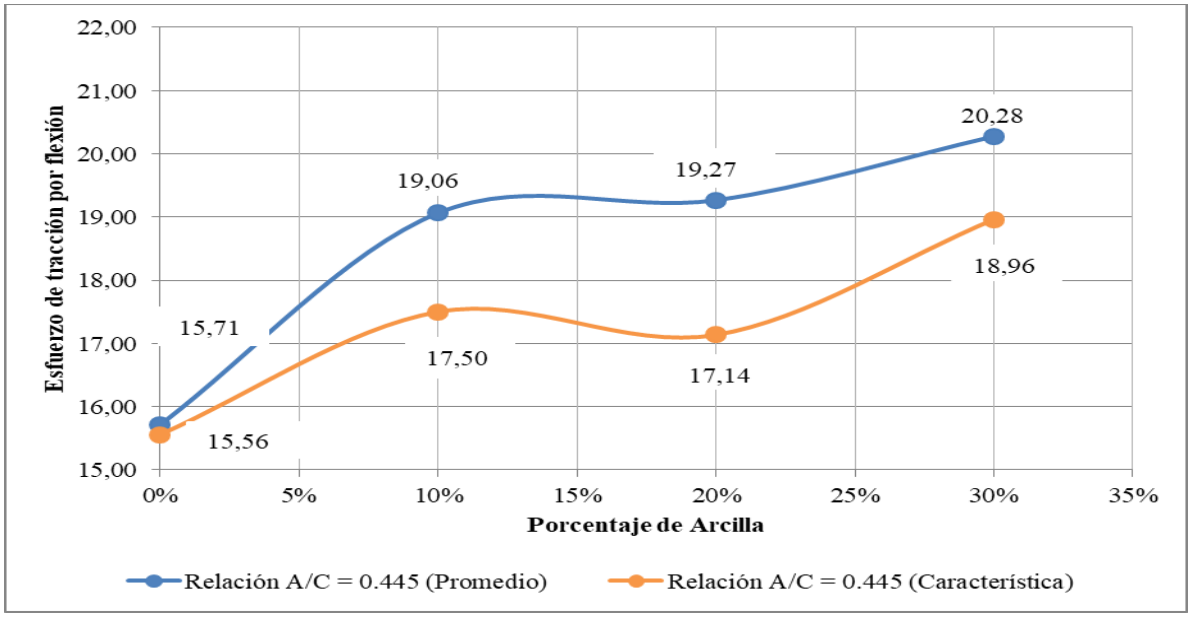


Figura 72. Resistencia a la Tracción por Flexión de Vigas a 28 días con a/c=0.445
Elaborado por: Albán – Utreras

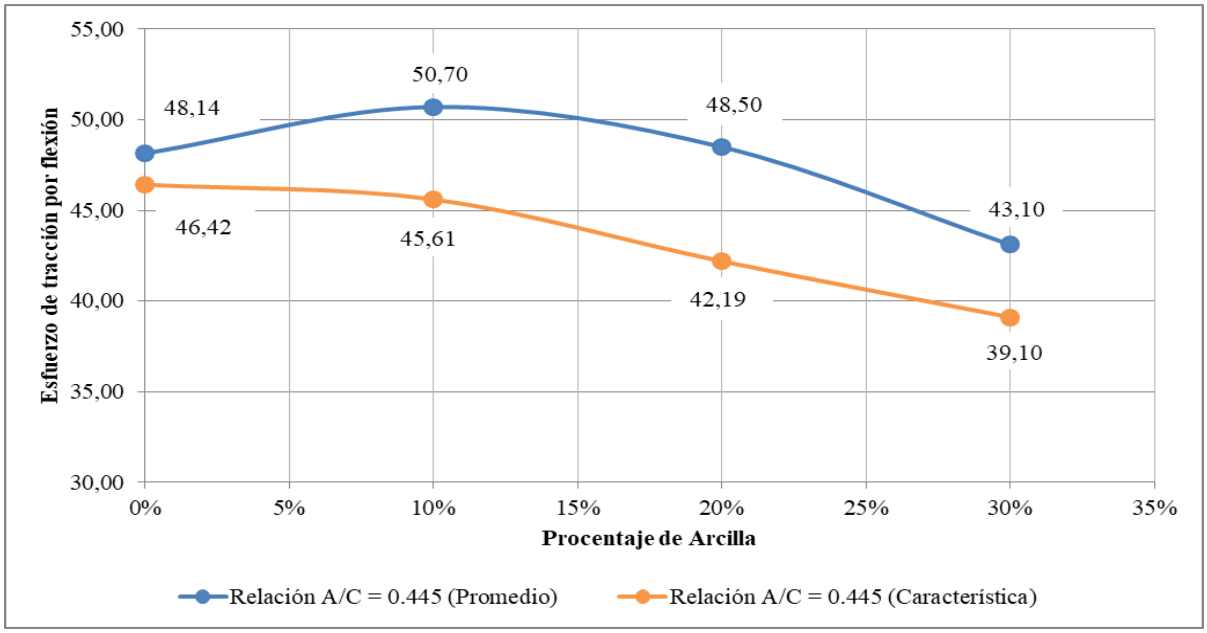


Figura 73. Relación de Esfuerzos a tracción por Flexión de Vigas / Esfuerzo a Compresión para una Relación a/c= 0,445
Elaborado por: Albán – Utreras

4 CAPITULO IV: APLICACIÓN EN PANELES PREFABRICADOS NO ESTRUCTURALES

4.1. Histórica de los Paneles Prefabricados

La historia de los paneles prefabricados se remonta al año de 1810 en Estados Unidos, cuando empezaron las invasiones del territorio, hasta el año 1860 cuando la migración se aproximó a la costa del océano pacífico. Este suceso creo la necesidad de desarrollar viviendas en el menor tiempo posible, el crecimiento poblacional era un factor que impulsaba la necesidad de nuevas viviendas, para resolver tal solicitud se utilizó materiales que se tenía en la zona como la madera, con la Revolución Industrial se generan conceptos necesarios para el desarrollo como productividad, velocidad, etc…

La primera pieza prefabricada sometida a carga, se consideran las vigas de hormigón en el Casino de Biarritz, la empresa encargada de la construcción, es la empresa constructora que reside en Paris llamada, Ed. Coignet, en el año de 1891.

Se registra la fabricación de paneles de hormigón en el año de 1905 en Pennsylvania que fueron colocadas sobre una estructura metálica.

En Europa en el año 1906, se construyeron por primera vez vigas en celosía, llamadas “Visintini”, logrando el éxito esperando, a continuación, en 1907 en Estados Unidos, se elaboró paneles para un edifico industrial el proceso se llevó a cabo in situ, de forma vertical los módulos fueron hormigonados para después ser levantados y puestos de forma vertical.

Jhon Conzelman elabora un método fundamentado en la elaboración de paneles de hormigón armado para la construcción de viviendas completas en 1912, este método ayudó a la elaboración de edificios. Cuando la Primera Guerra Mundial terminó, las consecuencias se hicieron notar, la carencia de materiales y la falta de mano de obra, lo

que produjo un aumento en el costo de la construcción, los constructores se vieron obligados a idearse una manera de construir que no elevara el costo de construcción y la falta de mano de obra. Este aprieto hizo que se llevara a cabo el desarrollo de la prefabricación.

4.2. Definición

Los paneles prefabricados de hormigón se fabrican con anterioridad con materiales conglomerantes como: arena, piedra, grava, agua con la mezcla de cemento. Son industrializados y fabricados en grandes cantidades, son transportados y montados en obra mediante grúas. Por su grado de prefabricación son cerramientos, construidos de manera cuidadosa para obtener los resultados deseados y cumplir con toda la solicitación para las cuales fueron diseñados. Los paneles prefabricados se clasifican en: paneles ligeros, que son de fácil montaje y son construidos con materiales ligeros. Los paneles pesados son construidos con elementos de mayor peso, no requieren de estructuras por lo general se anclan directamente en la estructura (COLLADO, 2005).

4.3. Descripción

La fabricación de los paneles prefabricados constan de dos capas externas de hormigón ligero que recubren un núcleo, el núcleo está compuesto de material ligero como poliestireno o son huecos, se recubren con mallas metálicas que están vinculadas con el exterior para su acople con la estructura, se perfora la capa de hormigón para la conexión y a continuación son revestidas del mismo. (Cordara, 2011)

4.4. Tipos de Paneles Prefabricados

Los tipos de paneles prefabricados dependen según el cometido que tenga en la estructura, dependiendo de su diseño tenemos paneles portantes y no portantes con recubrimiento simple o recubrimiento doble (Sánchez Hurtado, 2010).

4.4.1 Paneles Portantes

Los paneles portantes son elementos estructurales sometidos a cargas verticales, soportan y transmiten carga. Pueden aportar rigidez a la estructura, soportando cargas horizontales, por este motivo deben ser analizados cuidadosamente (Sánchez Hurtado, 2010).



Figura 74. Panel Portante
Fuente: tectonica.archi

4.4.2 Paneles no Portantes

Los Paneles no portantes no soportan cargas verticales, son utilizados para divisiones o cerramientos, actúan como tabiques o paredes. Estos elementos pueden ser suprimidos sin que afecte la estructura y la estabilidad del elemento, soportan solo su peso propio (Sánchez Hurtado, 2010).

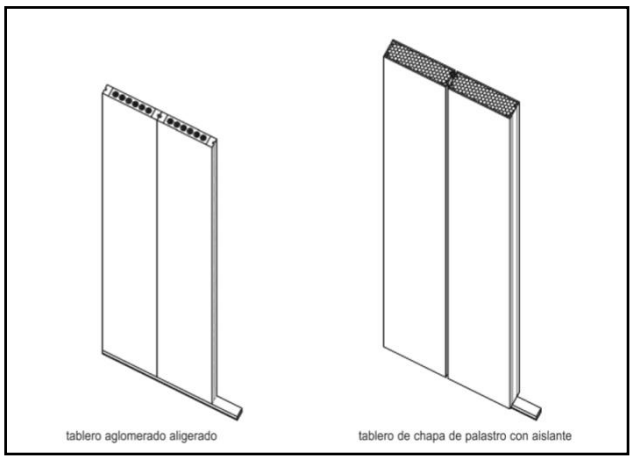


Figura 75. Paneles Aglomerados no Portantes
Fuente: Control de Ejecución de Tabiquerías y Cerramientos (COLLADO, 2005)

4.5. Aspectos de la fabricación del panel liviano

Para la fabricación de paneles prefabricados, las herramientas y materiales que se utilizan para la elaboración deben ser de buena calidad, de tal manera que los paneles tengan características iguales y cumplan con las especificaciones del fabricante, pasan por un proceso para protegerlos de agentes químicos y biológicos.

4.5.1 Dimensiones

Las dimensiones en los paneles prefabricados dependen de cada fabricante, pero normalmente tenemos paneles de 12 m x 3.20 m. El espesor está en función de la superficie, tenemos espesor de 8, 10 y 12 cm. Un limitante es el peso, el peso máximo de un panel prefabricado es de 10 toneladas y como recomendación para superficie mayores o iguales a 10 m2 (Sánchez Hurtado, 2010).

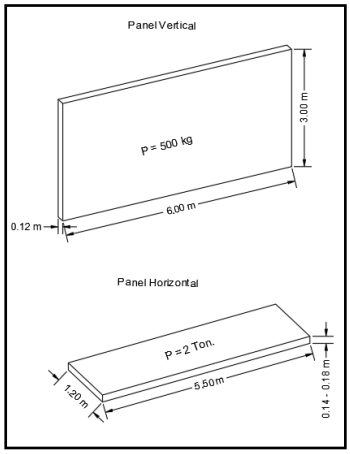


Figura 76. Magnitudes de un Panel Prefabricado.
Fuente: La Industrialización de la Edificación de Viviendas (Aguila García, 2006).

Las dimensiones reales de un panel prefabricado no deben variar más de lo especificado en la ASTM C901 (2018):

Tabla 110. Tolerancia de Dimensiones en Paneles Prefabricados

Longitud		Variación Máxima Permitida	
Pies	Metros	Pulgados	Milímetros
10 pies	3.05 m	± 1⁄8 pulg.	3.2 mm
10 a 20 pies	3.5 a 7.1 m	± 1⁄8 pulg - ±3⁄16 pulg	3.2 mm - 4.8 mm
20 a 30 pies	6.096 a 9.144 m	±1⁄8 pulg - ±1⁄4 pulg	3.2 mm - 6.4 mm

Fuente: American Society for Testing and Materials (ASTM C901, 2018)

4.5.2 Encofrado

Se define encofrado, como construcciones auxiliares de distinta geometría y de diferente material, destinado a servir de molde para la construcción de un elemento constructivo de hormigón, generalmente cumplen con las siguientes características: forma, resistencia, inmovilidad, rigidez, adherencia (Cassinello Pérez, 1996).

El encofrado utilizado para la fabricación de paneles prefabricados puede ser de diferentes tipos, existen encofrados de contrachapado de madera, poliéster reforzado con fibra de vidrio, metálicos incluso hay encofrados de GRC. Sus criterios de diseño son similares a los paneles de hormigón: verticales para facilitar la extracción, uniones perimetrales verticales desmontables, etc. (Aguila García, 2006).

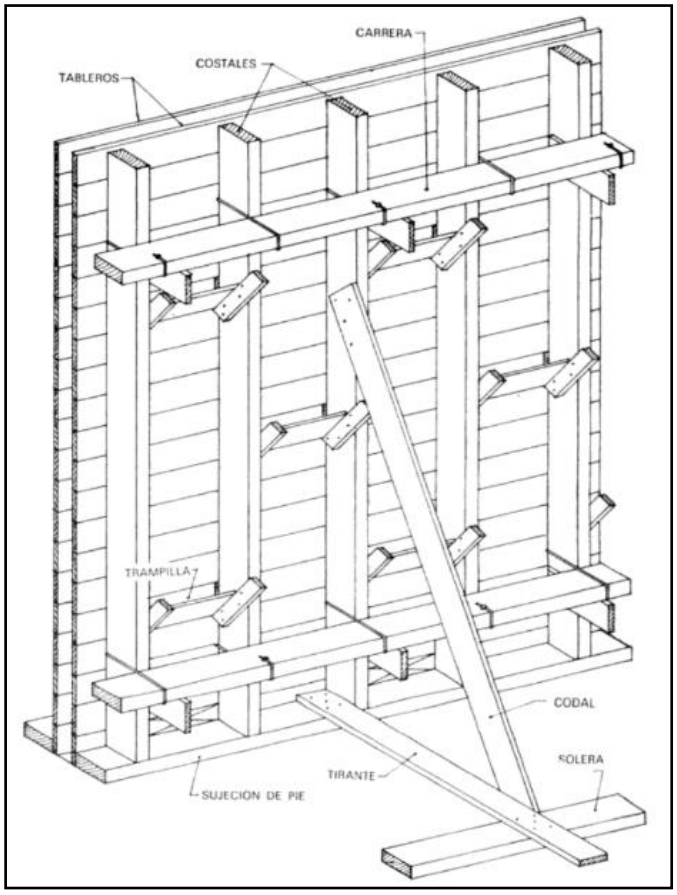


Figura 77. Encofrado de Paneles Verticales
Fuente: Construcción Hormigonería (Cassinello Pérez, 1996).

4.5.3 Acabados

Los acabados en paneles prefabricados pueden tener distintas texturas como textura lisa, textura rugosa, textura lisa pintada, textura que muestra el árido con brillo, el del árido original como textura para fachadas o interiores de vivienda.

4.5.4 Curado

En el primer período de endurecido hay que evitar las vibraciones y sobrecargas que cuartearían el hormigón por no haber alcanzado todavía su resistencia, por un período de 28 días, se mantiene la humedad para evitar la pérdida de agua en el transcurso del endurecimiento. Se puede emplear el riego superficial o sumergir completamente en agua, siempre que estos métodos garanticen que el agua no sea agresiva (Padilla, 1970).

El curado de paneles prefabricados se realiza por un sistema de riego continuo durante un período de tres días seguidos en un cuarto húmedo, para que retenga la humedad durante 28 días.

4.5.5 Desencofrado

Desencofrar es retirar el encofrado que está en contacto con el hormigón, con sus elementos auxiliares. Para facilitar el desencofrado, sea de madera o acero que sea utilizado para el encofrado se debe utilizar productos desencofrantes o desmoldantes, son productos antiadherentes compuestos de silicona o aceites que se disuelven en agua, también hay a base de grasas diluidas. Se debe evitar los productos de gasóleo, ya que este producto impide que el hormigón sea revestido. Se procede al desencofrado cuando el hormigón haya alcanzado la resistencia necesaria para soportarse a sí mismo, para los días de desencofrado se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales (temperatura, exposición al sol, vientos, humedad relativa) (Medina Sánchez, 2008).

Tabla 111. Períodos Mínimos Para Desencofrar y Descimbrar

Temperatura superficial del hormigón		**≥ 24 °C**	**16 °C**	**8 °C**	**2 °C**
Encofrado vertical (Pilares, muros, vigas)		**9 horas**	**12 horas**	**18 horas**	**30 horas**
Losas	Fondos de encofrados	2 días	3 días	5 días	8 días
	Puntuales (descimbrado)	7 días	9 días	13 días	20 días
Vigas	Fondos de encofrados	7 días	9 días	13 días	20 días
	Puntuales (descimbrado)	10 días	13 días	18 días	28 días

Fuente: Paneles Prefabricados de Hormigón en Fachadas (Sánchez Hurtado, 2010).

4.5.6 Costos

CODIGO:	503410	**COD. ALT:**		**RENDIMIENTO:**			0.5000
DESCRIPCIO	PANEL PREFABRICADA H.A. 1.80X3.00			**COSTO DIRECTO:**			23.90
DESCR. ALT:				**COSTO INDI**	0.00		0.00
UNIDAD:	u			**COSTO TOTAL:**			**23.90**
DETALLE:				**COSTO OBJETIVO:**			
GRUPO:				**REND. DIA:**			0
COD. CLAS.:	...						
EQUIPO Y HERRAMIENTAS							
CODIGO	**DESCRIPCIO**	**% M.O.**	**CANTIDAD**	**TARIFA**	**REND.**	**TOTAL**	**%**
200001	Herramienta menor		3.00	0.20	0.5000	0.30	0.01
200012	Concretera 1 saco		1.00	2.57	0.5000	1.29	0.05
200013	Vibrador		1.00	1.99	0.5000	1.00	0.04
					TOTAL EQUIPO:	**2.58**	0.11
MANO DE OBRA							
CODIGO	**DESCRIPCION**		**CANTIDAD**	**S.R.H.**	**REND.**	**TOTAL**	**%**
400001	Peon en general (estr.oc		4.00	3.51	0.5000	7.02	0.29
400003	Albañil (estr.oc d2)		1.00	3.55	0.5000	1.78	0.07
400005	Inspector (estr.oc b3)		0.10	3.99	0.5000	0.20	0.01
					TOTAL MANO DE OBRA:	**8.99**	0.38
MATERIALES							
CODIGO	**DESCRIPCION**		**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNITARIO**	**TOTAL**	**%**
102203	Aceite quemado		gl	0.32	0.57	0.18	0.01
100091	Acero de refuerzo fc=420		Kg	6.60	1.18	7.79	0.33
102204	Agua		m3	0.06	3.00	0.18	0.01
100093	Alambre de amarre #18		Kg	0.50	2.15	1.08	0.04
100018	Arena		m3	0.02	13.75	0.28	0.01
100039	Ripio		m3	0.03	13.75	0.41	0.02
100005	Arcilla		Kg	1.00	2.00	2.00	0.08
100042	Ripio		U	1.00	8.00	0.41	0.02
					TOTAL MATERIALES:	**20.33**	0.52
TRANSPORTE							
CODIGO	**DESCRIPCIO**	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**DISTANCIA**	**TARIFA**	**TOTAL**	**%**
					TOTAL TRANSPORTE:	**0.00**	0.00
SUBTOTAL P							**0.00**
				TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			**29.32**
				COSTO INDIRECTO			**0.00**
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA				**OTROS INDIRECTOS:**			
				COSTO TOTAL DEL RUBF			**29.32**
				VALOR OFERTADO:			**29.32**

* PARA EL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU), SE REALIZÓ CON LOS VALORES INDICADOS EN LA CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN CON EL PROGRAMA PROEXCEL

Figura 78. Costo de Fabricación de un Panel Prefabricado

Elaborado por: Albán – Utreras

4.6. Ventajas y Desventajas de Usar Paneles Prefabricados

Ventajas

A. Menor tiempo en la ejecución de la obra, la construcción con paneles prefabricados reduce el tiempo de construcción, llegando a obra como piezas por armar y con su forma geométrica ya establecida para que encajen de forma correcta.
B. Optimización de Mano de Obra, al momento de iniciar la obra, se puede comenzar hacer la cimentación y los paneles al mismo tiempo.
C. Reducción de Costos, la utilización de paneles prefabricados no solo reduce los períodos de ejecución de obra, también reduce el costo en el alquiler de encofrados y reduce la mano de obra y maquinaria.
D. Reducción de desperdicios, los paneles prefabricados al ser construidos con antelación reducen el desperdicio de materiales. Los escombros que se producen en obra se reducen permitiendo una mayor ejecución de obra.
E. Acabados, la utilización de paneles prefabricados ofrece una facilidad en obra, el acabo o terminados pueden ser elegidos por el constructor previo al montaje en obra.
F. Movilidad, por su fácil transportación, pueden ser desmontados y llevados a otro lugar en que se prefiera construir.

Desventajas

A. Transporte, por su tamaño y peso, un limitante es la movilidad, se necesita una grúa y personal capacitado se deberá tomar en cuenta otros factores como la capacidad de la grúa y la accesibilidad.
B. Capacidad estructural, las uniones de los paneles prefabricados pueden causar inconvenientes con el diseño estructural, en las uniones podrían generar una mala rigidez de los elementos de la estructura.
C. Geometría, la diferencia de dimensiones en los paneles pueden generar demora en la colección o no quedar bien acopladas con las juntas.

5 CAPITULO V: CONCLUSIONES - RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Si se observa la tabla 112, en la que se resumen los valores obtenidos de los materiales que se utilizó en el presente trabajo de disertación, y se hace un comparativo con las especificaciones de las normas INEN 872 y ASTM C33; se puede establecer que los materiales cumplen con la mayoría de los requisitos establecidos; a excepción de: granulometría, porcentaje que pasa el tamiz 200, equivalente de arena por parte del agregado fino y granulometría por parte del agregado grueso; en todo caso, los materiales sí cumplen con las condiciones requeridas en los otros ensayos para su uso, con lo cual se concluye que a pesar de no presentar las condiciones de granulometría adecuadas, los agregados usados en este trabajo de disertación sirven, ya que esto se logró corregir en el proceso de dosificación proporcionando adecuadamente la cantidad de material fino y grueso.

Tabla 112. Cuadro Comparativo de los Ensayos de Laboratorio con las Especificaciones

Cuadro Resumen			
AGREGADO FINO			
ENSAYO	OBTENIDO	REQUISITOS INEN 872:2011	OBSERVACION
GRAFICO DE GRANULOMETRIA	50% DENTRO DE ESPECIFICACION		NO CUMPLE
PORCENTAJE PASA EL TAMIZ #200	12,18%	NO MAYOR A 5%	NO CUMPLE
GRAVEDAD ESPECIFICA	2,25	-	-
PORCENTAJE ABSORCION	4,80%	-	-
PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m3)	1519	-	-
PORCENTAJE TERRONES DE ARCILLA	1,20%	MENOR O IGUAL A 3%	CUMPLE
PESO UNITARIO COMPACTO (Kg/m3)	1660	-	-
DURABILIDAD A LA ACCIÓN DE SULFATO DE SODIC	9,8%	NO MAYOR AL 10%	CUMPLE
EQUIVALENTE DE ARENA	83	MAYOR O IGUAL A 90	NO CUMPLE
CONTENIDO ORGANICO	<500	MENOR O IGUAL A 500ppm	CUMPLE
AGREGADO GRUESO			
ENSAYO	OBTENIDO	REQUISITOS INEN 872:2011	OBSERVACION
GRAFICO DE GRANULOMETRIA	50% DENTRO DE ESPECIFICACION		NO CUMPLE
GRAVEDAD ESPECIFICA	2,51	-	-
PORCENTAJE ABSORCION	2,90%	-	-
PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m3)	1376	-	-
PESO UNITARIO COMPACTO (Kg/m3)	1493	-	-
PORCENTAJE TERRONES DE ARCILLA	1,18%	MENOR O IGUAL A 3%	CUMPLE
DURABILIDAD A LA ACCIÓN DE SULFATO DE SODIC	4%	NO MAYOR AL 12%	CUMPLE
ABRASION-DESGASTE MAQUINA DE LOS ANGELES	28	NO MAYOR A 50%	CUMPLE
AGREGADO GRUESO (ARLITA)			
ENSAYO	OBTENIDO	REQUISITOS INEN 872:2011	OBSERVACION
GRAFICO DE GRANULOMETRIA	100% DENTRO DE LA ESPECIFICACION		CUMPLE
GRAVEDAD ESPECIFICA	0,56	-	-
PORCENTAJE ABSORCION	12,80%	-	-
PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m3)	333	-	-
PESO UNITARIO COMPACTO (Kg/m3)	363	-	-

Elaborado por: Albán – Utreras

- Si se observa la tabla 113, en la que se resumen los valores obtenidos de los ensayos en cemento y se hace un comparativo con las especificaciones de las normas INEN 490 y ASTM C595; se establece que el cemento cumple con todos los requisitos establecidos, por lo tanto se concluye que el material fue apto para la utilización en este trabajo de disertación.

Tabla 113 Cuadro de Resumen de los Ensayos en Cemento

ENSAYO	OBTENIDO	OBSERVACION
Gravedad Específica (g/cm3)	2.91	-
Finura Blaine (m2 /kg)	316	Cumple
Tiempo de fraguado Vicat	420	Cumple
Expansión en el Autoclave	0.076	Cumple

Elaborado por: Albán – Utreras

- Los esfuerzos a compresión de cilindros en muestras de hormigón normal, ensayadas a los 7 días, para las tres relaciones A/C = 0.53, 0.494 y 0.445 (ver tabla 87-89), presentaron un porcentaje de resistencia característica del 54 al 57% con respecto al 100% de su resistencia, con lo cual se concluye que, en ensayos realizados a los 7 días la resistencia característica aproximada es del 56% con respecto a la de los 28 días; valor que es consistente con respecto a los valores determinados en el laboratorio, y, que para el tipo de cemento que utilizamos varía entre el 55 al 70%.
- Con las muestras cilíndricas de hormigón normal sometidas a compresión, cuya relación A/C utilizada fue de 0.53, se obtuvo una resistencia promedio de 220 kg/cm2, y, una resistencia característica de 215 kg/cm2; por lo tanto se concluye que las muestras cumplen con las expectativas de diseño para el hormigón cuya resistencia esperada era de 210 kg/cm2.
- Las muestras cilíndricas de hormigón normal sometidas a compresión, cuya relación A/C utilizada fue de 0.494, se obtuvo una resistencia promedio de 248 kg/cm2, y, una resistencia característica de 238 kg/cm2; por lo tanto se

concluye que a pesar de que la resistencia característica está por debajo de la esperada, el hormigón con este diseño si podría cumplir adecuadamente con la resistencia de 240 kg/cm2, de acuerdo a la resistencia promedio.

- Las muestras cilíndricas de hormigón normal sometidas a compresión, cuya relación A/C utilizada fue de 0.445, se obtuvo una resistencia promedio de 306 kg/cm2, y, una resistencia característica de 298 kg/cm2; por lo tanto se concluye que los resultados cumplen satisfactoriamente con las expectativas de diseño para el hormigón cuya resistencia esperada era de 280 kg/cm2.
- Los esfuerzos a compresión, en las muestras cilíndricas de hormigón con un 10, 20 y 30% de arcilla expandida incluida, ensayadas a los 7 días, para la relación A/C = 0.53 (ver tabla 87), presentaron un porcentaje de resistencia característica promedio del 60% con respecto al 100% de su resistencia a los 28 días, con lo cual se concluye que en ensayos realizados a los 7 días la resistencia característica en muestras de hormigón con arcilla expandida, es ligeramente mayor a la resistencia característica en un hormigón normal.
- Los resultados de compresión, en las muestras cilíndricas de hormigón con un 10, 20 y 30% de arcilla expandida incluida, ensayadas a los 7 días, para la relación A/C = 0.494 (ver tabla 88), presentaron un porcentaje de resistencia característica promedio del 64% con respecto al 100% de su resistencia a los 28 días, con lo cual se concluye que en ensayos realizados a los 7 días la resistencia característica en muestras de hormigón con arcilla expandida, es ligeramente mayor a la resistencia característica en un hormigón normal de la misma relación A/C.
- Los esfuerzos a compresión, en las muestras cilíndricas de hormigón con un 10, 20 y 30% de arcilla expandida incluida, ensayadas a los 7 días, para la

relación A/C = 0.445 (ver tabla 89), presentan un porcentaje de resistencia característica promedio del 62% con respecto al 100% de su resistencia a los 28 días, con lo cual se concluye que, en ensayos realizados a los 7 días la resistencia característica en muestras de hormigón con arcilla expandida, es ligeramente mayor a la resistencia característica en un hormigón normal.

- El porcentaje de esfuerzos a tensión por flexión en viguetas, disminuye del 18 al 20% (ver tabla 114); para una A/C = 0.53, con los diferentes porcentajes de arcilla expandida añadidos a la mezcla, con respecto a los resultados del hormigón normal; por lo tanto se concluye que los valores obtenidos indican que la arcilla expandida presenta un mejor comportamiento a tracción.
- La resistencia a flexión disminuye ligeramente en viguetas, variando un porcentaje del 18% al 20% como se indica en la tabla 115; para una A/C = 0.494, con arcilla expandida añadida a la mezcla, con lo cual se concluye que: existe una disminución con respecto al porcentaje de esfuerzos en un hormigón normal.
- Los ensayos a tensión por flexión en viguetas, varían un valor del 16% al 19% (ver tabla 115); para una A/C = 0.445, con los diferentes porcentajes de arcilla expandida añadidos a la mezcla, por lo tanto se concluye que, con respecto al hormigón normal, la resistencia a tracción aumenta su capacidad de porcentaje respecto a la compresión, y esto a su vez nos indica que a mayor relación A/C el porcentaje de disminución es menor.

Tabla 114 Resistencia de Tracción con respecto a la Compresión

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGUETAS					
LOCALIZACIÓN: PIFO		AUTORES:		JORGE LUIS ALBAN	
CANTERA: HOLCIM PIFO				ISRAEL UTRERAS	
Cuadro Resumen					
Relación A/C	**Porcentaje de Arcilla**	**Muestra (kg/cm2)**			
		f'c Promedio	f'r Característica	f'c Caracteristica	% de tracción respecto a la compresión
A/C= 0.53	0%	40,59	39,05	214,73	18,19
	10%	41,09	36,85	186,18	19,79
	20%	37,09	34,48	176,86	19,50
	30%	34,45	32,77	162,11	20,21
Relación A/C	**Porcentaje de Arcilla**	f'c Promedio	f'r Característica	f'c Caracteristica	% de tracción respecto a la compresión
A/C= 0.494	0%	45,77	43,84	238,04	18,42
	10%	45,62	41,39	207,41	19,95
	20%	41,11	38,05	193,95	19,62
	30%	37,76	35,24	171,97	20,49
Relación A/C	**Porcentaje de Arcilla**	f'c Promedio	f'r Característica	f'c Caracteristica	% de tracción respecto a la compresión
A/C= 0.445	0%	48,14	46,42	298,33	15,56
	10%	50,15	44,61	260,60	17,12
	20%	49,50	42,19	246,22	17,14
	30%	43,10	39,10	206,22	18,96

- Si se observa la figura 61, podemos encontrar que mediante los valores obtenidos de módulos de elasticidad calculados, se obtuvo el valor de α el cual varía de 13600 a 12650, con lo cual se concluye que, a medida que se aumenta arcilla expandida el valor disminuye representando el 3 al 10% con respecto a las muestras de hormigón normal, para una relación A/C = 0.53.
- Los valores obtenidos de α, mediante los módulos de elasticidad calculados al añadir arcilla expandida, representados en la figura 61, varía entre 13780 a 12810 para una relación A/C = 0.494, y un valor de 14000 a 13000 para una relación A/C = 0.445, con respecto a las muestras de hormigón normal, por lo tanto se concluye que presentan una disminución del 4 al 11% debido a la porosidad que se presenta en el material.

- Si se observa la figura 56, en el cual se encuentran los valores de los módulos de elasticidad calculados y se hace una comparación con el gráfico 57 donde se encuentran los valores del ACI se puede observar que existe una disminución del 1 al 3% para todas las relaciones A/C, debido a su peso unitario se concluye que la deformación unitaria ira disminuyendo a medida que se aumentan los porcentajes de arcilla expandida.
- Se concluye que el peso unitario en las mezclas de hormigón con arcilla expandida, desciende a medida que se vaya adicionando cada vez más el porcentaje de este material (ver tabla 60), ya que debido a su alta porosidad y absorción, el peso unitario estimado de nuestro hormigón varía de 2200 a 2300 kg/m3, pero al adicionar un quinto material a la mezcla, el peso unitario se reduce a 2214 kg/m3, es decir pierde el 2.25% del peso unitario normal, con una adición del 10% de arcilla; se reduce a 2180 kg/m3 perdiendo el 3.75% del peso unitario normal con una adición del 20% de arcilla y se reduce a 2116 kg/m3 perdiendo el 6.6% del peso unitario normal, con una adición del 30% de arcilla expandida.

5.2. Recomendaciones

- Los hormigones alivianados con arcilla expandida son una alternativa que puede ser usada en elementos no estructurales, como aceras, bordillos u otros elementos que no soportan carga como paneles divisorios, por lo tanto se recomienda usarlo como una alternativa de hormigón estructural, en construcciones pequeñas, sin grandes luces, o proyectos de vivienda social.
- En estructuras de mayor importancia, por el momento, no se recomienda utilizar el hormigón armado con arcilla expandida, debido a que no se han realizado estudios del comportamiento con el acero; además, los módulos presentan valores muy bajos, lo cual puede generar deformaciones mayores debido a que su rigidez disminuye.
- A futuro, se recomienda hacer una investigación mucho más amplia con mayor número de muestras, para poder validar todas las conclusiones expresadas en esta investigación.

6 BIBLIOGRAFÍA

1578, I. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.* Quito.

ACI. (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14).* Farmington Hills.

Aguila García, A. (2006). *La Industrialización de la Edificación de Viviendas.* Madrid: Mairea Libros.

Andrew Short, W. K. (1967). *Concreto ligero.* Editorial Limusa - Wiley, S. A.

ANEFHOP, O. (1978). *Manual de consejos practicos sobre hormigón.*

Angel Francisco Nistal Cordero, M. J. (2012). El hormigon: Historia, antecedentes en obras y factores indicativos de su resistencia. *Tecnologia y desarrollo.*, 3.

ASTM C 33. (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates.* West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.

ASTM C127. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.* West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.

ASTM C136. (2014). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.* West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.

ASTM C40. (2019). *Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete.* West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.

ASTM C469. (2014). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.* West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.

ASTM C78. (2018). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).* West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.

ASTM C901. (2018). *Standard Specification for Prefabricated Masonry Panels.* West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.

ASTM D2419. (2014). *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate.* West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos.

Carlos Vileda, M. L. (s.f.). *Dosificaciones de hormigones livianos.*

Cassinello Pérez, F. (1996). *Construcción Hormigonería.* Madrid: Instituto Juan de Herrera.

COLLADO, P. (2005). *Control de Ejecución de Tabiquerías y Cerramientos.* España: Editorial Lex Nova.

Cordara, G. O. (2011). *FABRICACIÓN DE PANELES SANDWICH CON CONCRETO LIVIANO, EL SISTEMA CONSTRUCTIVO Y LOS ELEMENTOS QUE LO COMPRENDEN.* Montevideo.

Guzman, D. S. (2001). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO.* Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Harmsen, T. E. (2005). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado.* Lima.

Hou Huang, D. E., Caicedo Chica , J. L., & Falconí Pincay , A. A. (2009). *HORMIGONES LIVIANOS DE ALTO DESEMPEÑO, Tesis de Grado.* Guayaquil - Ecuador.

Hummel, A. (1966). *Prontuario del hormigón.* Barcelona: Editores tecnicos asociados, s.a.

INEN, 1. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.* Quito.

INEN, N. (2010). *Hormigón y áridos para elaborar hormigón.* Quito.

José E. Crespo Amorós, A. V. (2014). *Avances en el área de materiales y sus procesos .*

Lara, L. (2011). *Manual de Laboratorio de Hormigones .* Quito.

Luis Fernando Valdéz Guzmán, G. E. (2010). *Hormigones livianos.* Guayaquil.

Materiales de construcción. (2007). Barcelona: ceac.

Medina Sánchez, E. (2008). *Construcción de Estructuras de Hormigón Armado Edificacion.* Madrid: Jacaryan, S.A.

Moral, F. (1966). *Hormigón armado.* Madrid: Dossat, S.A.

NEC-SE-HM. (2014). *Estructuras de hormigón armado.* Quito.

Neville, A. M. (1999). *Tecnología del Concreto.* México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

NTE INEN 0694. (2010). *Hormigones yáridos para elaborar hormigón. Terminología.* Quito - Ecuador.

NTE INEN 0696. (2011). *Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso.* Quito.

NTE INEN 0698. (2010). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.* Quito - Ecuador.

NTE INEN 0856. (2010). *Áridos. Determinación de la Densidad, Densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.* Quito.

NTE INEN 0858. (2010). *Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.* Quito.

NTE INEN 0860. (2011). *Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles.* Quito - Ecuador.

NTE INEN 2554. (2011). *HORIMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO, DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN. (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS).* Quito - Ecuador.

Padilla, P. (1970). *Cimentaciones y Estructuras de Hormigon Almado, Elementos Especiales y Cimentaciones.* Maignón, Bacelona, España: Editores Técnicos Asociados, S.A.

Pérez, V. (1980). *El concreto armado en las estructuras.* Trillos.

Sánchez Hurtado, J. F. (2010). *PANELES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN EN FACHADAS, Trabajo de graduación de Máster de estructuras, cimentaciones y materiales.* Madrid:

Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Schmidt, H. (1970). *Materiales de construccion.*

Steven Kosmatka, B. K. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto.* Illinois: PCA.

Valdez Guzmán, L. F., Suárez Alcívar, G. E., & Proaño Cadena, G. (s,f,.). *HORMIGONES LIVIANOS.* Guayaquil - Ecuador.

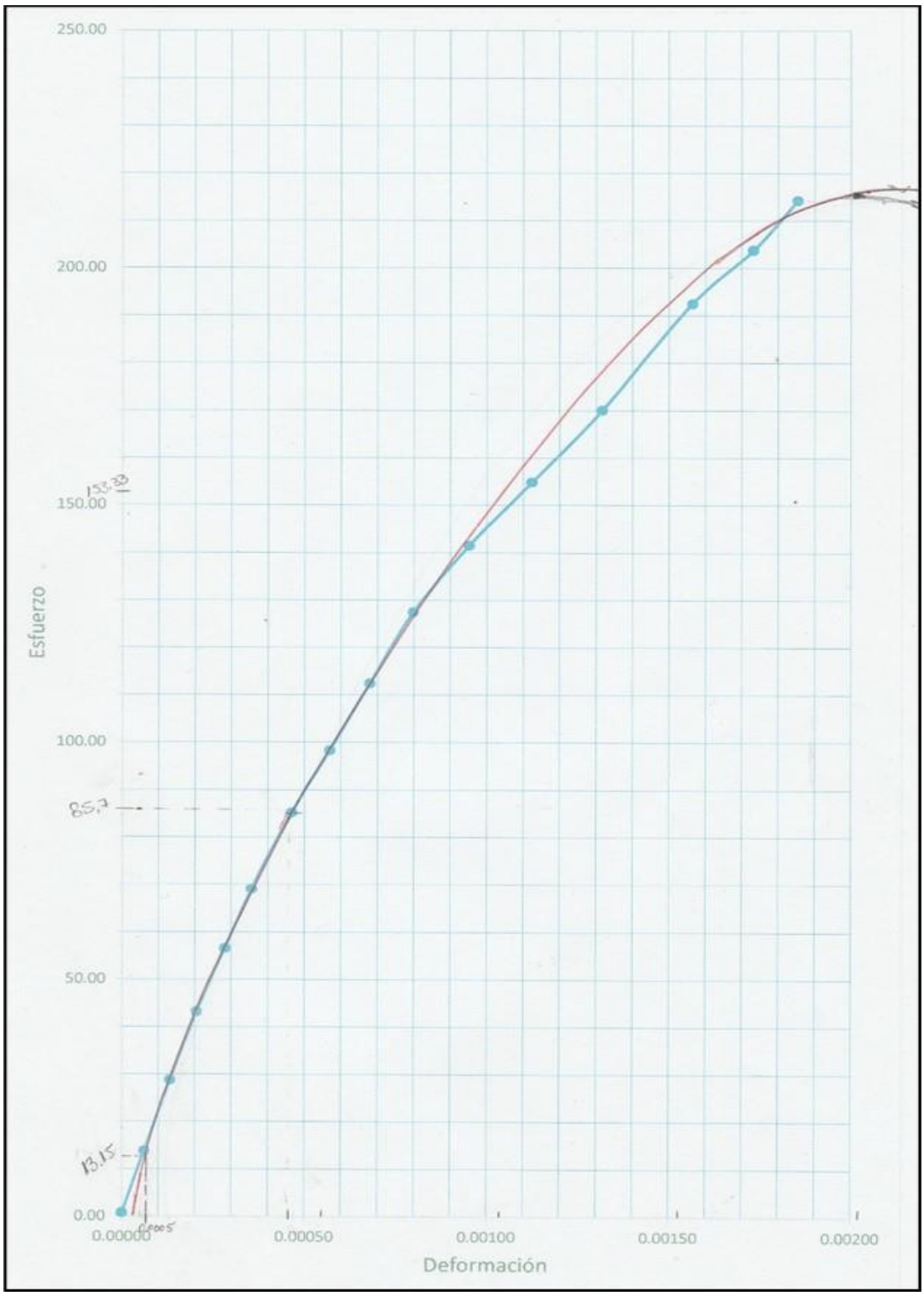
Weber. (2017). *Guía Técnica Arlita Leca.* México.

7 ANEXOS

Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	1451,4	0	0	0	0,81832428
0,025	24512	0,000123153	0,012344167	0,00006081	13,82028714
0,054	51093	0,00026601	0,026663401	0,000131347	28,80711206
0,084	76592	0,000413793	0,041476401	0,000204317	43,18388677
0,116	100382	0,000571429	0,057276935	0,000282152	56,59709789
0,146	122536	0,000719212	0,072089935	0,000355123	69,08790408
0,191	151140	0,000940887	0,094309436	0,000464579	85,21533118
0,234	174397	0,001152709	0,115541403	0,000569169	98,32802774
0,279	199437	0,001374384	0,137760903	0,000678625	112,4460104
0,328	225926	0,001615764	0,161955471	0,00079781	127,3809641
0,391	251014	0,001926108	0,193062771	0,000951048	141,5260099
0,462	274610	0,002275862	0,228120206	0,001123745	154,8298405
0,541	301560	0,002665025	0,267127773	0,0013159	170,024714
0,643	341506	0,003167488	0,317491974	0,001564	192,5469557
0,712	361348	0,003507389	0,351561875	0,001731832	203,7342166
0,762	380014	0,003753695	0,376250209	0,001853449	214,2584284

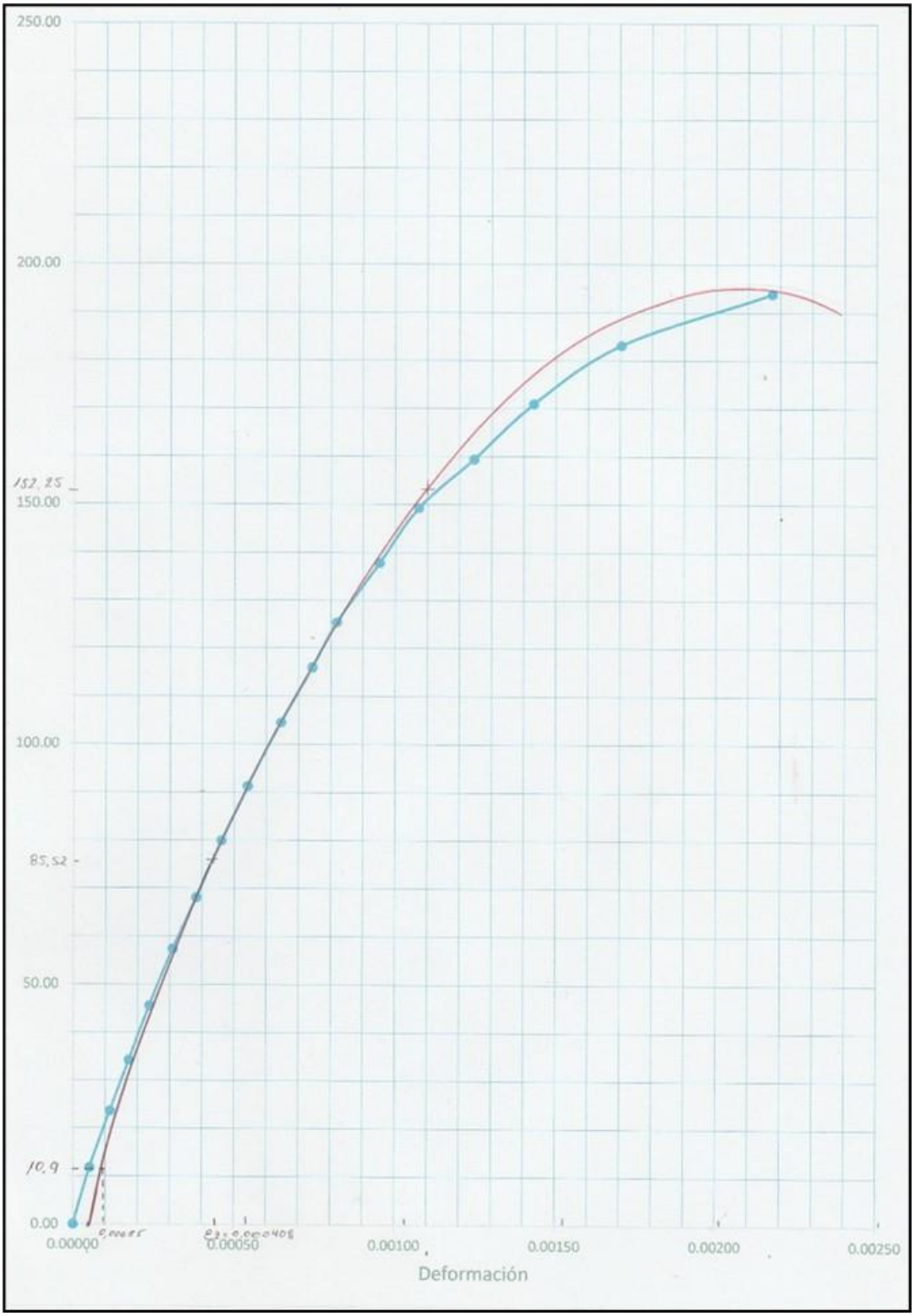
Módulo de Elasticidad – f'c = 214.25 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	241,72	0	0	0	0,137570039
0,021	20775	0,000103448	0,0103691	0,00005108	11,82367022
0,047	41565	0,000231527	0,023207034	0,00011432	23,65587738
0,071	60182	0,000349754	0,035057434	0,000172697	34,25136563
0,097	80075	0,000477833	0,047895368	0,000235938	45,57306342
0,127	100855	0,000625616	0,062708368	0,000308908	57,39957929
0,157	119622	0,000773399	0,077521369	0,000381879	68,080437
0,189	140526	0,000931034	0,093321902	0,000459714	79,97752496
0,223	160404	0,001098522	0,110109969	0,000542414	91,2906858
0,222	160404	0,001093596	0,109616203	0,000539981	91,2906858
0,265	183728	0,001305419	0,13084817	0,000644572	104,5650677
0,305	203818	0,001502463	0,150598837	0,000741866	115,9988841
0,336	220246	0,001655172	0,165905604	0,000817269	125,3485473
0,391	242199	0,001926108	0,193062771	0,000951048	137,8426524
0,441	262248	0,002172414	0,217751105	0,001072666	149,2531344
0,512	280172	0,002522167	0,252808539	0,001245362	159,4542157
0,588	300292	0,002896552	0,290334807	0,001430221	170,905106
0,7	321829	0,003448276	0,345636675	0,001702644	183,1624531
0,894	340622	0,004403941	0,441427411	0,002174519	193,8581081
0,945	345840	0,004655172	0,466609511	0,002298569	196,8278271
1,264	384720	0,006226601	0,624121082	0,003074488	218,9555911

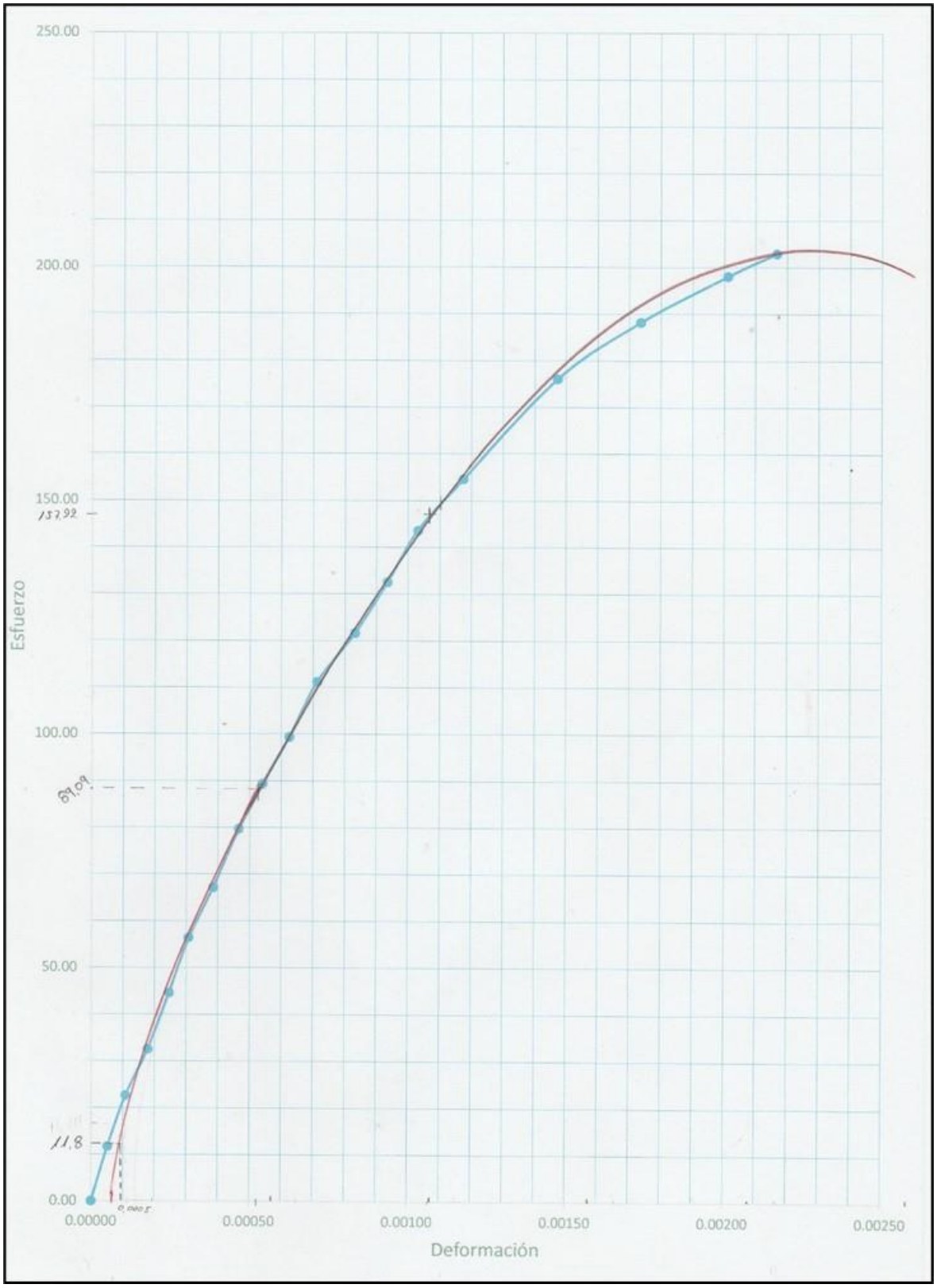
Módulo de Elasticidad – f'c = 218.90 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,02	21326	9,85222E-05	0,010484204	0,000052	11,71779703
0,042	41174	0,000206897	0,022016828	0,000108457	22,62349127
0,069	59277	0,000339901	0,036170504	0,00017818	32,57037675
0,095	81245	0,00046798	0,049799969	0,00024532	44,64092749
0,119	102619	0,000586207	0,062381014	0,000307296	56,38509863
0,149	122252	0,00073399	0,07810732	0,000384765	67,17265884
0,18	145100	0,0008867	0,094357836	0,000464817	79,72673492
0,209	162618	0,001029557	0,109559931	0,000539704	89,35218594
0,242	180898	0,001192118	0,126858868	0,000624921	99,39632594
0,276	202309	0,001359606	0,144682015	0,000712719	111,1608271
0,322	221461	0,001586207	0,168795684	0,000831506	121,6840968
0,362	241187	0,001783251	0,189764092	0,000934798	132,5227568
0,399	261387	0,001965517	0,209159869	0,001030344	143,6218612
0,455	281509	0,002241379	0,23851564	0,001174954	154,6781077
0,57	320410	0,002807882	0,298799813	0,00147192	176,052675
0,672	342485	0,003310345	0,352269253	0,001735317	188,182018
0,779	360466	0,003837438	0,408359744	0,002011624	198,0618693
0,839	369431	0,004133005	0,439812356	0,002166563	202,9877837
0,924	386428	0,004551724	0,484370223	0,00238606	212,3269657
1,024	406840	0,005044335	0,536791243	0,002644292	223,5425557

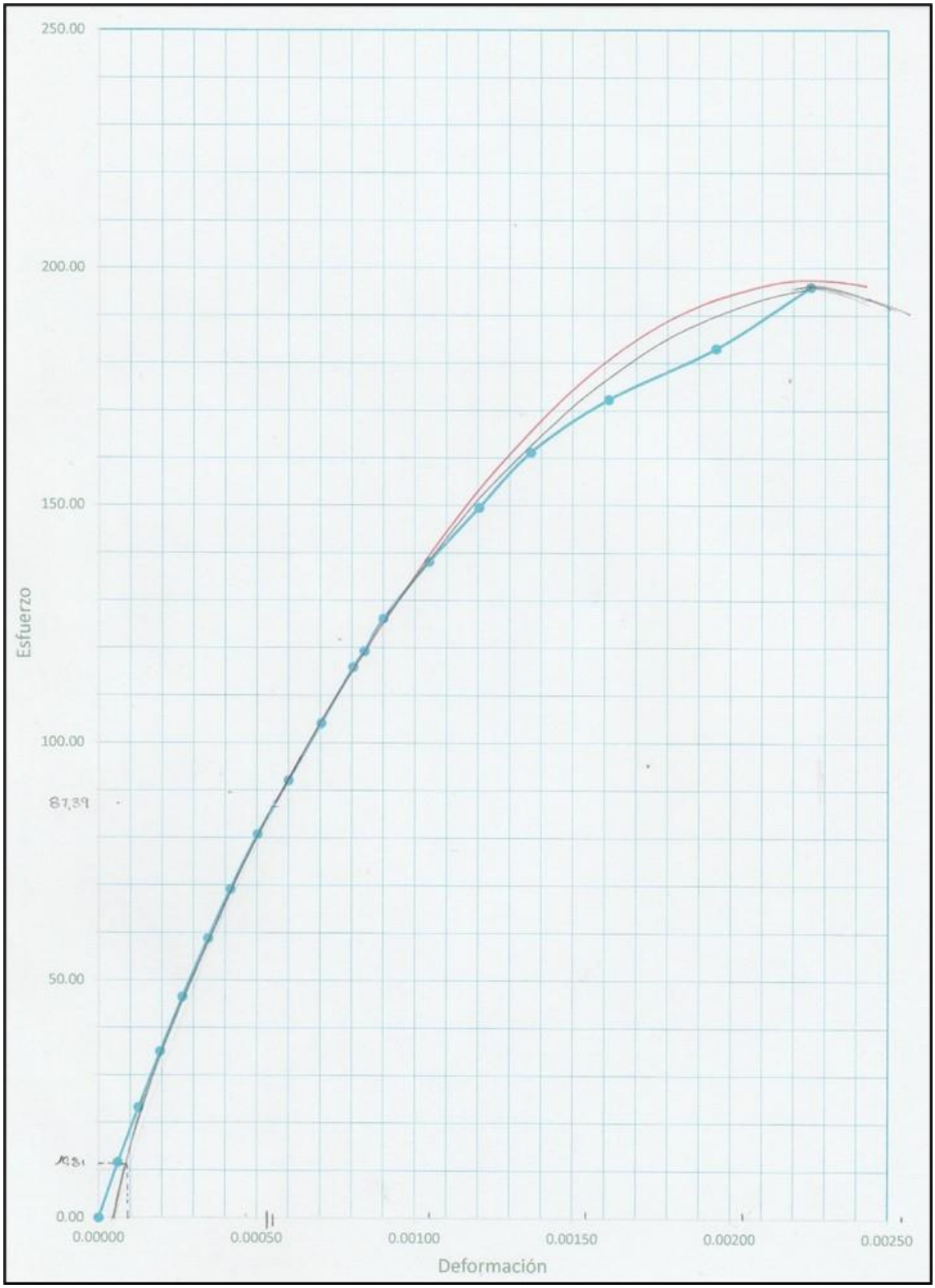
Módulo de Elasticidad – f'c = 223.48 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,024	20257	0,000118227	0,012287163	0,0000605	11,61404446
0,05	40476	0,000246305	0,025598255	0,0001261	23,20630219
0,077	61158	0,00037931	0,039421313	0,000194194	35,06401396
0,105	81114	0,000517241	0,053756336	0,00026481	46,50548462
0,137	102697	0,000674877	0,07013922	0,000345513	58,87977112
0,165	120734	0,000812808	0,084474243	0,000416129	69,22101216
0,199	140937	0,000980296	0,101881056	0,000501877	80,80409653
0,238	160626	0,001172414	0,121847695	0,000600235	92,09248678
0,279	181665	0,001374384	0,142838265	0,000703637	104,1548791
0,319	202232	0,001571429	0,163316869	0,000804517	115,9466574
0,333	208002	0,001640394	0,170484381	0,000839825	119,2547996
0,357	220018	0,001758621	0,182771543	0,000900352	126,1439914
0,414	240929	0,002039409	0,211953554	0,001044106	138,1329968
0,477	260723	0,002349754	0,244207356	0,001202992	149,4815872
0,542	281106	0,002669951	0,277485088	0,001366922	161,1678719
0,64	300549	0,003152709	0,327657668	0,001614077	172,3152218
0,775	319274	0,003817734	0,396772958	0,001954547	183,0509172
0,894	341785	0,004403941	0,457696805	0,002254664	195,9572584
0,934	367821	0,004600985	0,47817541	0,002355544	210,8846051
0,994	389820	0,004896552	0,508893316	0,002506864	223,4973989

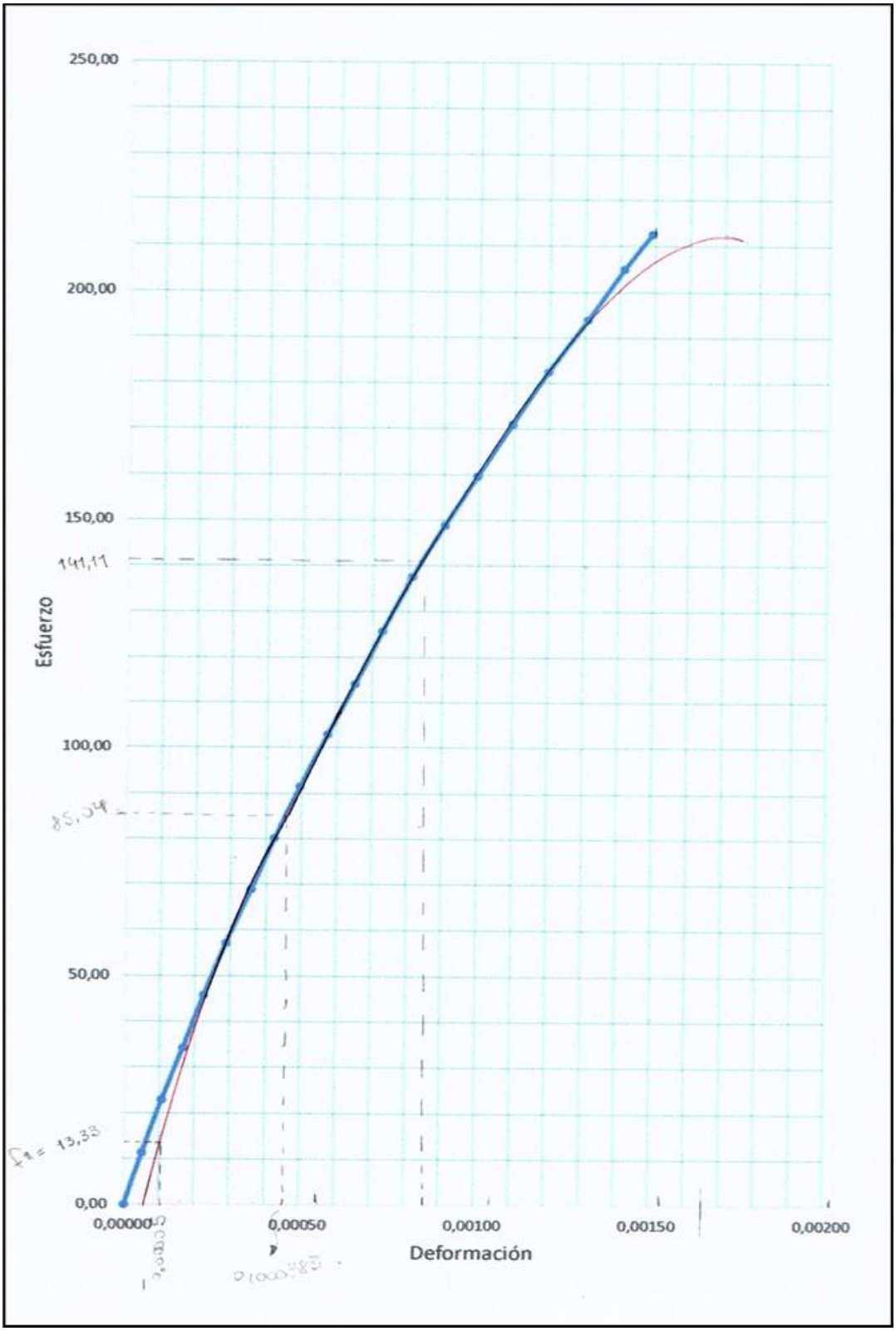
Módulo de Elasticidad – f'c = 223.44 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,021	20023	0,000103448	0,010311697	5,07965E-05	11,3880
0,044	40196	0,000216749	0,021605459	0,000106431	22,8614
0,069	60123	0,000339901	0,033881289	0,000166903	34,1948
0,093	80526	0,000458128	0,045666085	0,000224956	45,7990
0,119	100386	0,000586207	0,058432947	0,000287847	57,0943
0,148	120910	0,000729064	0,072672909	0,000357995	68,7673
0,175	140947	0,000862069	0,085930805	0,000423304	80,1633
0,205	160847	0,001009852	0,1006618	0,000495871	91,4813
0,237	180781	0,001167488	0,116374861	0,000573275	102,8188
0,269	200440	0,001325123	0,132087923	0,000650679	113,9998
0,301	220917	0,001482759	0,147800984	0,000728084	125,6460
0,336	241835	0,001655172	0,164987145	0,000812745	137,5431
0,374	261662	0,001842365	0,183646405	0,000904662	148,8196
0,412	280823	0,002029557	0,202305666	0,00099658	159,7174
0,453	300550	0,002231527	0,222438026	0,001095754	170,9371
0,495	320654	0,002438424	0,243061419	0,001197347	182,3712
0,541	340842	0,002665025	0,265648945	0,001308615	193,8531
0,584	360312	0,002876847	0,286763371	0,001412627	204,9266
0,617	373810	0,003039409	0,302967465	0,001492451	212,6035

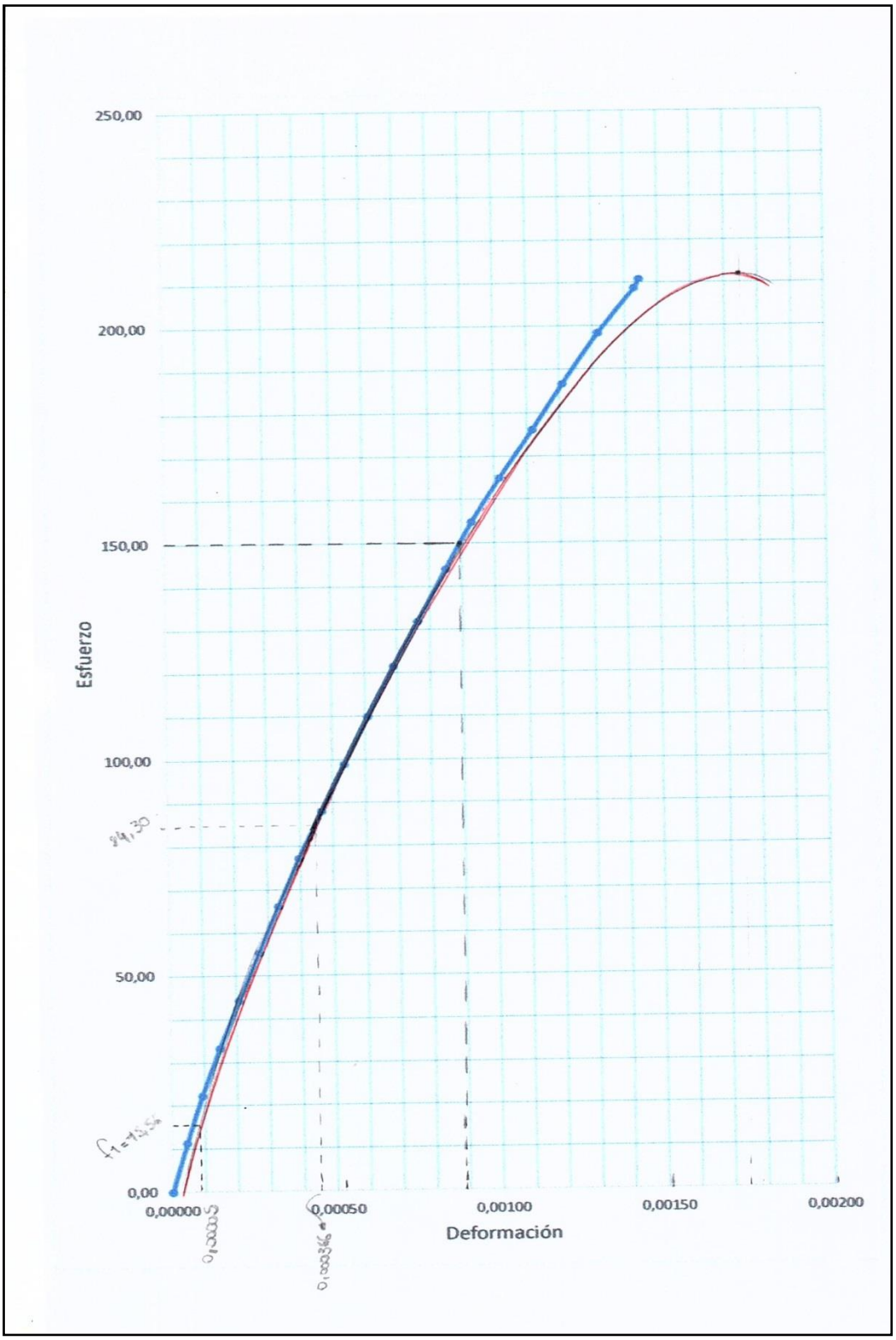
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 212.6 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,019	20459	9,35961E-05	0,009268164	4,5656E-05	11,2230
0,039	40483	0,000192118	0,019024125	9,37149E-05	22,2074
0,062	60545	0,000305419	0,030243481	0,000148983	33,2126
0,087	80541	0,000428571	0,042438433	0,000209056	44,1816
0,113	100645	0,00055665	0,055121183	0,000271533	55,2098
0,138	120473	0,000679803	0,067316135	0,000331607	66,0867
0,165	140615	0,000812808	0,080486683	0,000396486	77,1358
0,194	160369	0,000955665	0,094632828	0,000466172	87,9720
0,223	180254	0,001098522	0,108778972	0,000535857	98,8802
0,253	200263	0,001246305	0,123412915	0,000607945	109,8563
0,287	221268	0,001413793	0,139998049	0,000689646	121,3788
0,318	240219	0,001566502	0,15511979	0,000764137	131,7746
0,354	262420	0,001743842	0,172680521	0,000850643	143,9531
0,387	282075	0,001906404	0,188777857	0,00092994	154,7351
0,423	300548	0,002083744	0,206338588	0,001016446	164,8686
0,465	321035	0,00229064	0,226826108	0,00111737	176,1070
0,503	338300	0,002477833	0,245362435	0,001208682	185,5779

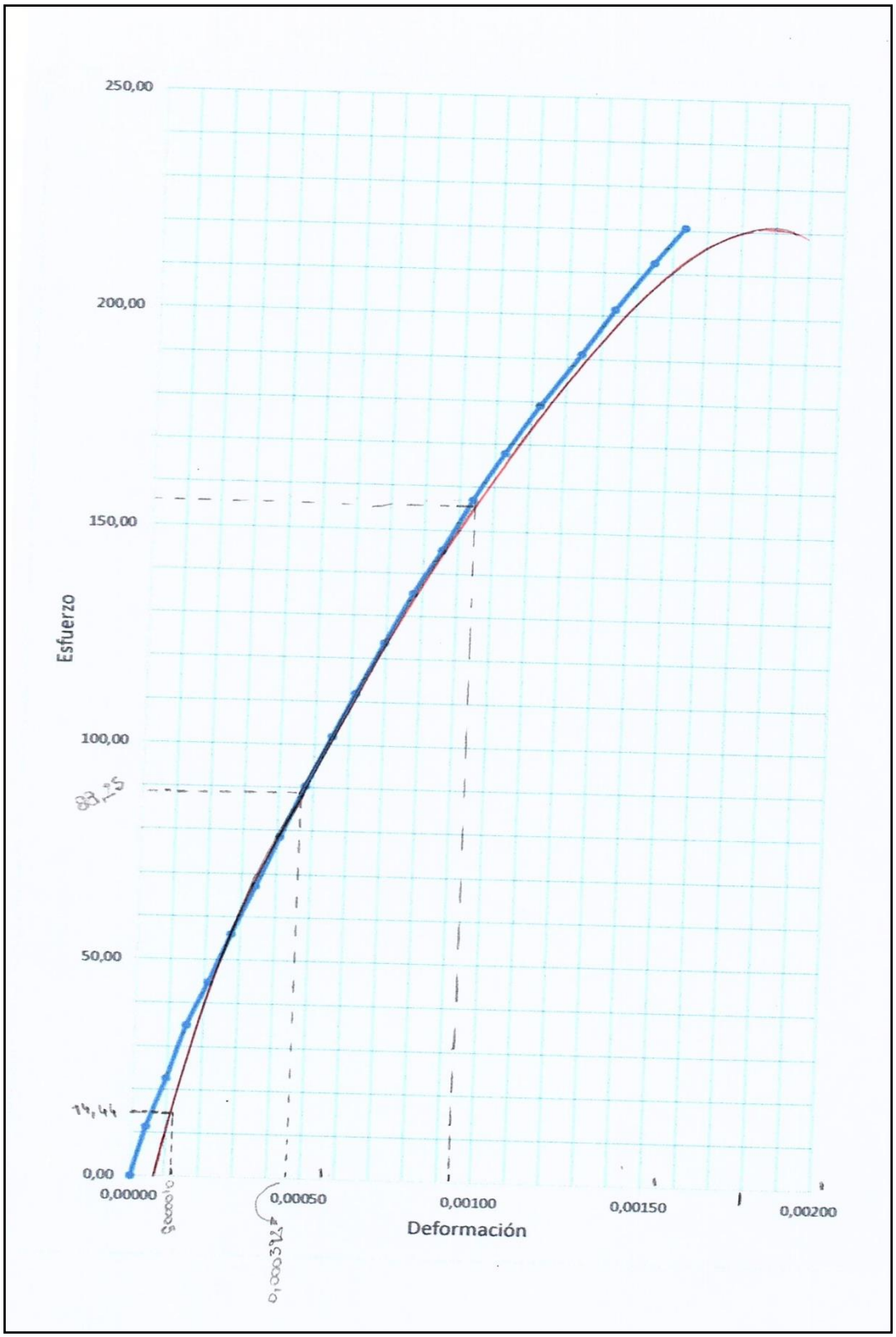
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 185.58 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,017	20183	8,37438E-05	0,008593951	4,23347E-05	11,2641
0,039	40502	0,000192118	0,019715534	9,71209E-05	22,6040
0,061	62505	0,000300493	0,030837117	0,000151907	34,8838
0,085	80052	0,000418719	0,042969754	0,000211674	44,6767
0,110	100272	0,000541872	0,055607917	0,000273931	55,9614
0,137	120367	0,000674877	0,069257133	0,000341168	67,1763
0,164	140795	0,000807882	0,082906349	0,000408406	78,5771
0,192	161794	0,000945813	0,097061091	0,000478133	90,2966
0,221	182594	0,00108867	0,11172136	0,000550352	101,9050
0,247	200504	0,001216749	0,124865049	0,000615099	111,9005
0,279	221350	0,001374384	0,141041898	0,000694788	123,5345
0,311	242370	0,00153202	0,157218746	0,000774477	135,2657
0,343	260387	0,001689655	0,173395595	0,000854165	145,3209
0,377	281188	0,001857143	0,190583496	0,000938835	156,9299
0,413	300761	0,002034483	0,208782451	0,001028485	167,8535
0,452	320859	0,002226601	0,228497985	0,001125606	179,0701
0,499	342330	0,002458128	0,252257731	0,001242649	191,0530
0,537	362400	0,00264532	0,271467739	0,00133728	202,2540

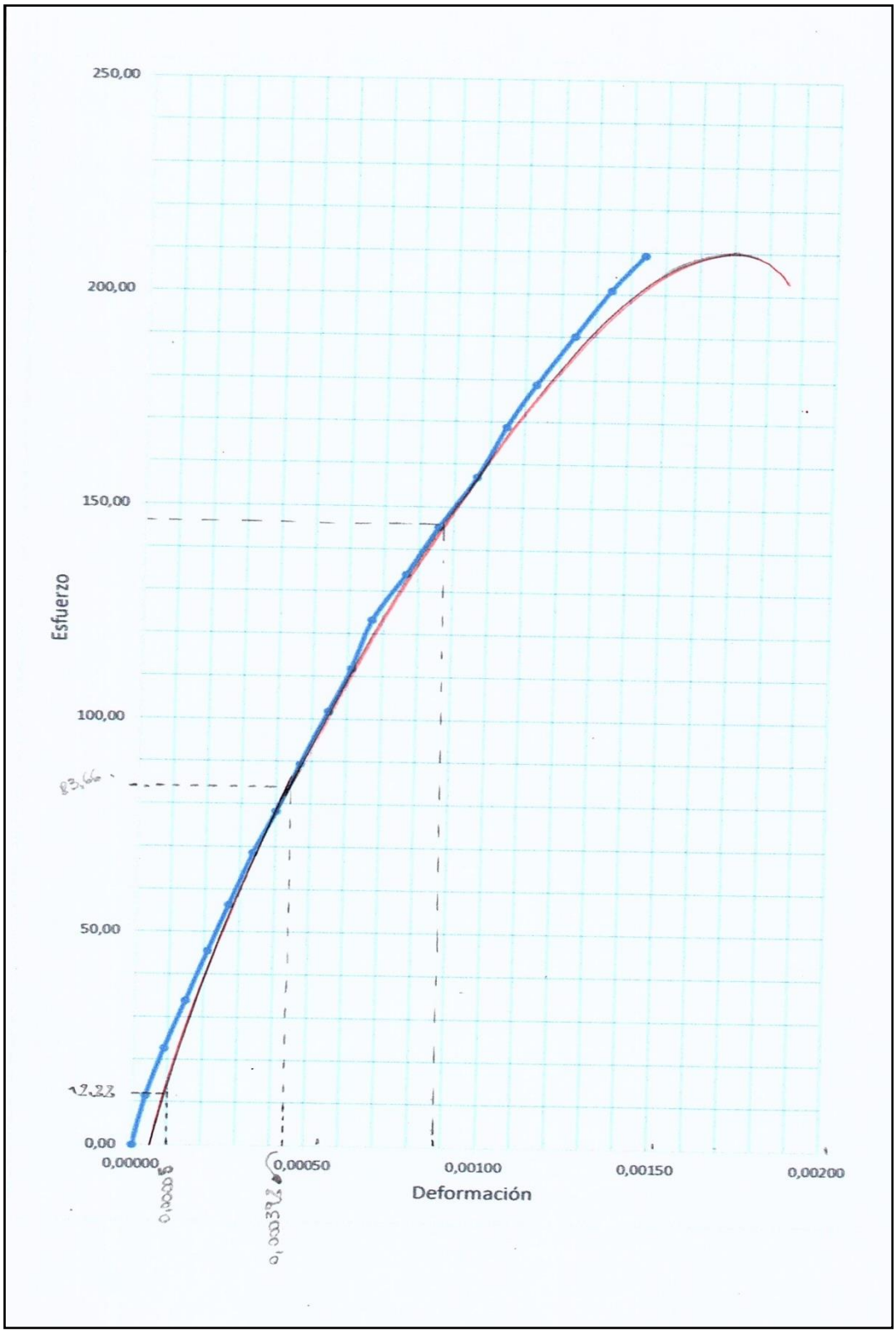
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 202.25 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,015	20357	7,38916E-05	0,007534787	3,71172E-05	11,3507
0,036	40663	0,00017734	0,018083489	8,90812E-05	22,6730
0,060	60732	0,000295567	0,030139148	0,000148469	33,8632
0,085	81368	0,000418719	0,042697126	0,000210331	45,3695
0,109	100896	0,000536946	0,054752785	0,000269718	56,2580
0,136	122889	0,000669951	0,068315401	0,000336529	68,5210
0,162	140241	0,00079803	0,081375699	0,000400866	78,1962
0,189	160001	0,000931034	0,094938315	0,000467676	89,2140
0,221	182534	0,00108867	0,111012527	0,00054686	101,7781
0,247	200439	0,001216749	0,124072825	0,000611196	111,7616
0,270	220867	0,001330049	0,135626165	0,000668109	123,1519
0,309	240302	0,001522167	0,155216611	0,000764614	133,9886
0,346	260352	0,001704433	0,173802418	0,00085617	145,1682
0,390	281374	0,001921182	0,19590446	0,000965047	156,8897
0,423	302564	0,002083744	0,212480991	0,001046704	168,7049
0,457	320646	0,002251232	0,229559841	0,001130837	178,7871
0,501	340959	0,00246798	0,251661883	0,001239714	190,1133
0,543	360136	0,002674877	0,272759286	0,001343642	200,8061
0,582	375126	0,002866995	0,292349732	0,001440146	209,1643

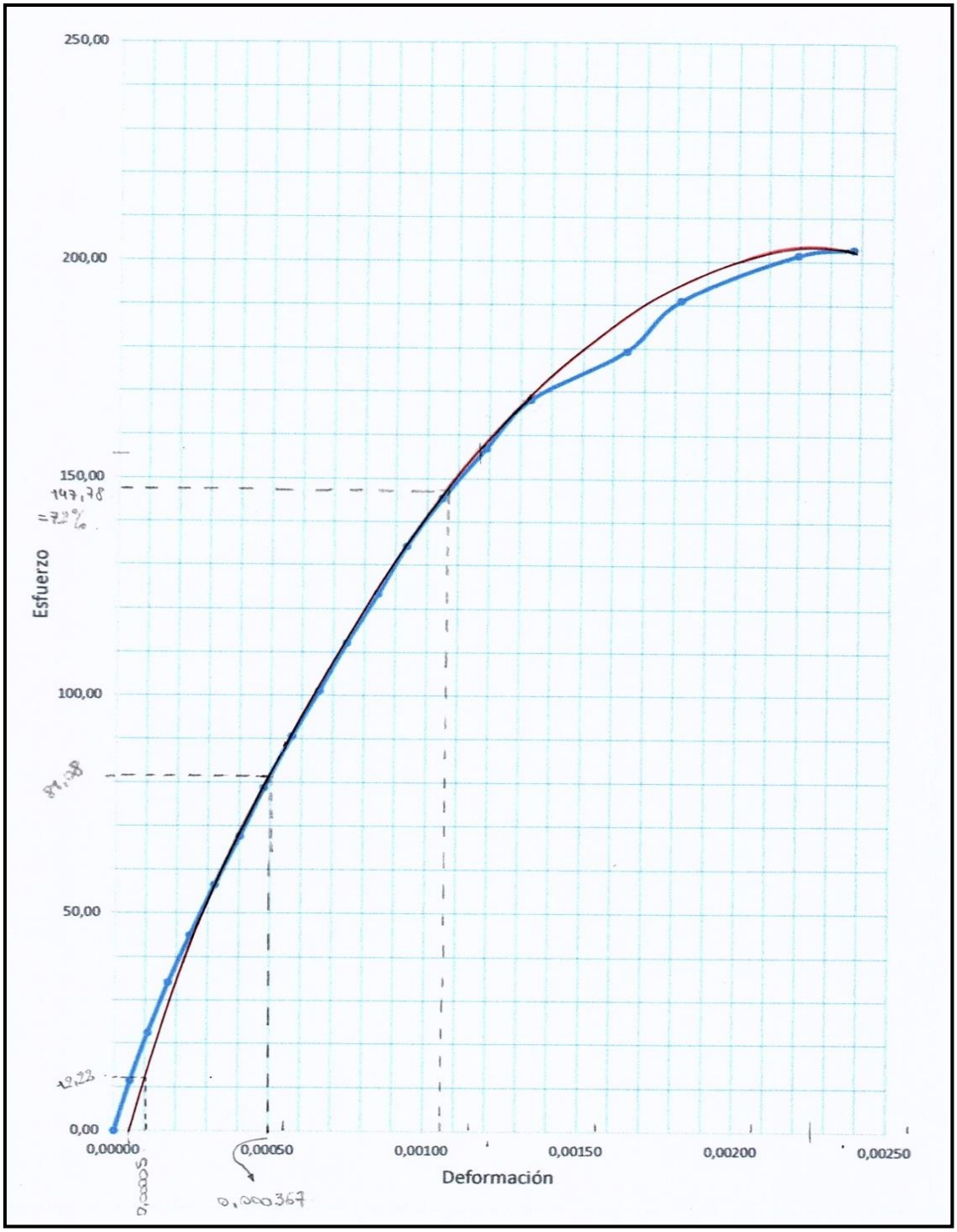
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 209.16 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,021	20396	0,000103448	0,010459383	5,15241E-05	11,4046028
0,044	40037	0,000216749	0,021914897	0,000107955	22,3870406
0,071	61014	0,000349754	0,035362675	0,0001742	34,1165147
0,099	80164	0,000487685	0,049308518	0,000242899	44,8244056
0,131	100798	0,00064532	0,065246625	0,000321412	56,3620881
0,164	120908	0,000807882	0,081682798	0,000402378	67,6067715
0,195	140885	0,000960591	0,097122839	0,000478438	78,7770867
0,232	161989	0,001142857	0,115551275	0,000569218	90,5775739
0,267	180656	0,001315271	0,132983579	0,000655092	101,015391
0,303	200575	0,001492611	0,15091395	0,000743418	112,153275
0,344	220621	0,001694581	0,171334649	0,000844013	123,362172
0,381	240096	0,001876847	0,189763085	0,000934794	134,25179
0,428	260234	0,002108374	0,21317218	0,001050109	145,51213
0,485	280617	0,002389163	0,241561933	0,00118996	156,909463
0,543	300405	0,002674877	0,270449751	0,001332265	167,974098
0,669	320678	0,003295567	0,333206047	0,001641409	179,309924
0,740	341568	0,00364532	0,368568722	0,001815609	190,990751
0,790	348900	0,003891626	0,393472014	0,001938286	195,090503

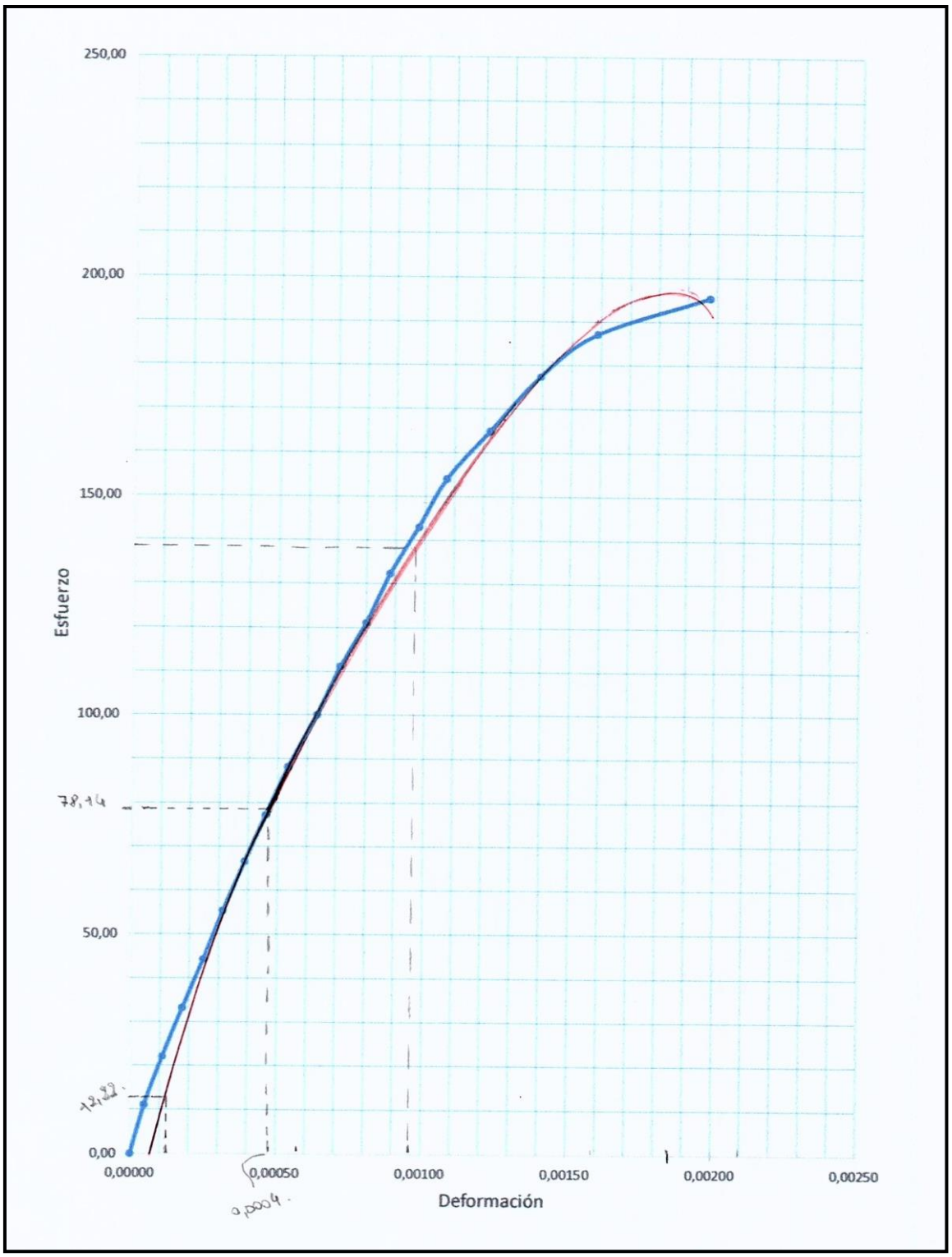
Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 195.09 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,020	20185	9,85222E-05	0,009672912	4,76498E-05	11,0856562
0,046	40088	0,000226601	0,022247697	0,000109595	22,0164372
0,074	60471	0,000364532	0,035789774	0,000176304	33,2108355
0,104	80628	0,000512315	0,050299141	0,000247779	44,281114
0,132	100611	0,000650246	0,063841218	0,000314489	55,2558312
0,163	121168	0,000802956	0,078834231	0,000388346	66,5457907
0,193	140541	0,000950739	0,093343599	0,000459821	77,1854943
0,225	160415	0,001108374	0,108820258	0,00053606	88,1003485
0,266	182075	0,001310345	0,128649727	0,000633742	99,9960786
0,299	202352	0,001472906	0,144610031	0,000712365	111,132261
0,336	220452	0,001655172	0,162504918	0,000800517	121,07283
0,370	240823	0,00182266	0,178948868	0,000881522	132,260638
0,411	260315	0,002024631	0,198778337	0,000979204	142,965697
0,451	280502	0,002221675	0,218124161	0,001074503	154,052451
0,513	300093	0,002527094	0,248110187	0,001222218	164,811881
0,585	323500	0,002881773	0,28293267	0,001393757	177,667068

Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 177.67 kg/cm2

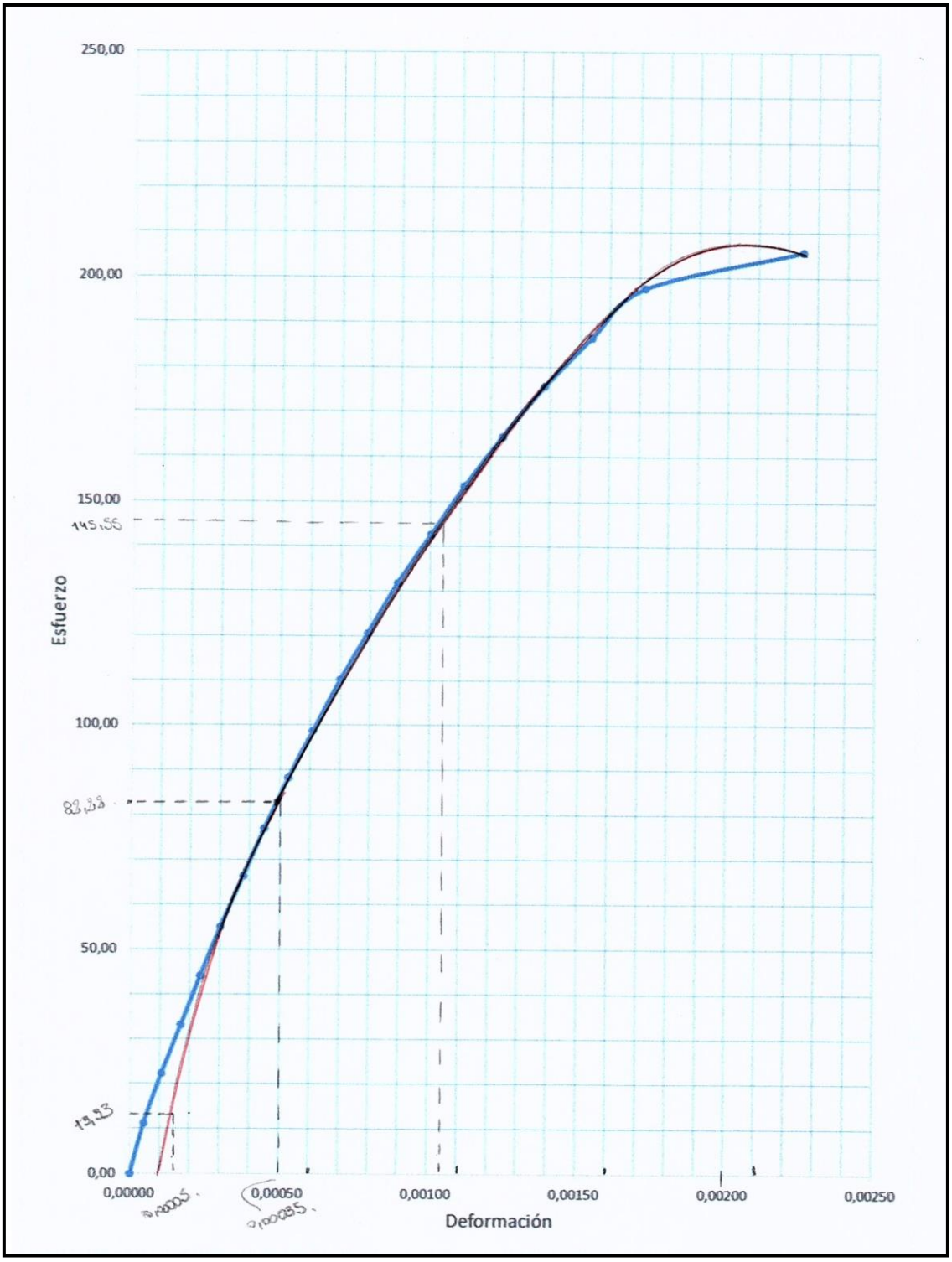


Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 20% de Arcilla

Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,019	20336	9,35961E-05	0,009547911	4,7034E-05	11,1998861
0,043	40489	0,000211823	0,021608429	0,000106445	22,2989865
0,069	60658	0,000339901	0,034673991	0,000170808	33,4068987
0,095	80571	0,00046798	0,047739553	0,00023517	44,373821
0,122	100396	0,000600985	0,061307637	0,000302008	55,292278
0,153	121279	0,000753695	0,076885807	0,000378748	66,7934199
0,181	140687	0,000891626	0,090956412	0,000448061	77,4822176
0,213	161240	0,001049261	0,107037104	0,000527276	88,8016147
0,246	180213	0,001211823	0,123620317	0,000608967	99,2508396
0,283	201376	0,001394089	0,142213617	0,00070056	110,906189
0,320	220325	0,001576355	0,160806916	0,000792152	121,342196
0,36	240681	0,001773399	0,180907781	0,000891171	132,553097
0,405	260676	0,001995074	0,203521254	0,001002568	143,56518
0,45	280505	0,002216749	0,226134726	0,001113964	154,48584
0,501	300346	0,00246798	0,251763329	0,001240213	165,41311
0,558	320826	0,002748768	0,280407061	0,001381316	176,692302
0,622	336500	0,003064039	0,312568444	0,001539746	185,32463

Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 185.32 kg/cm2

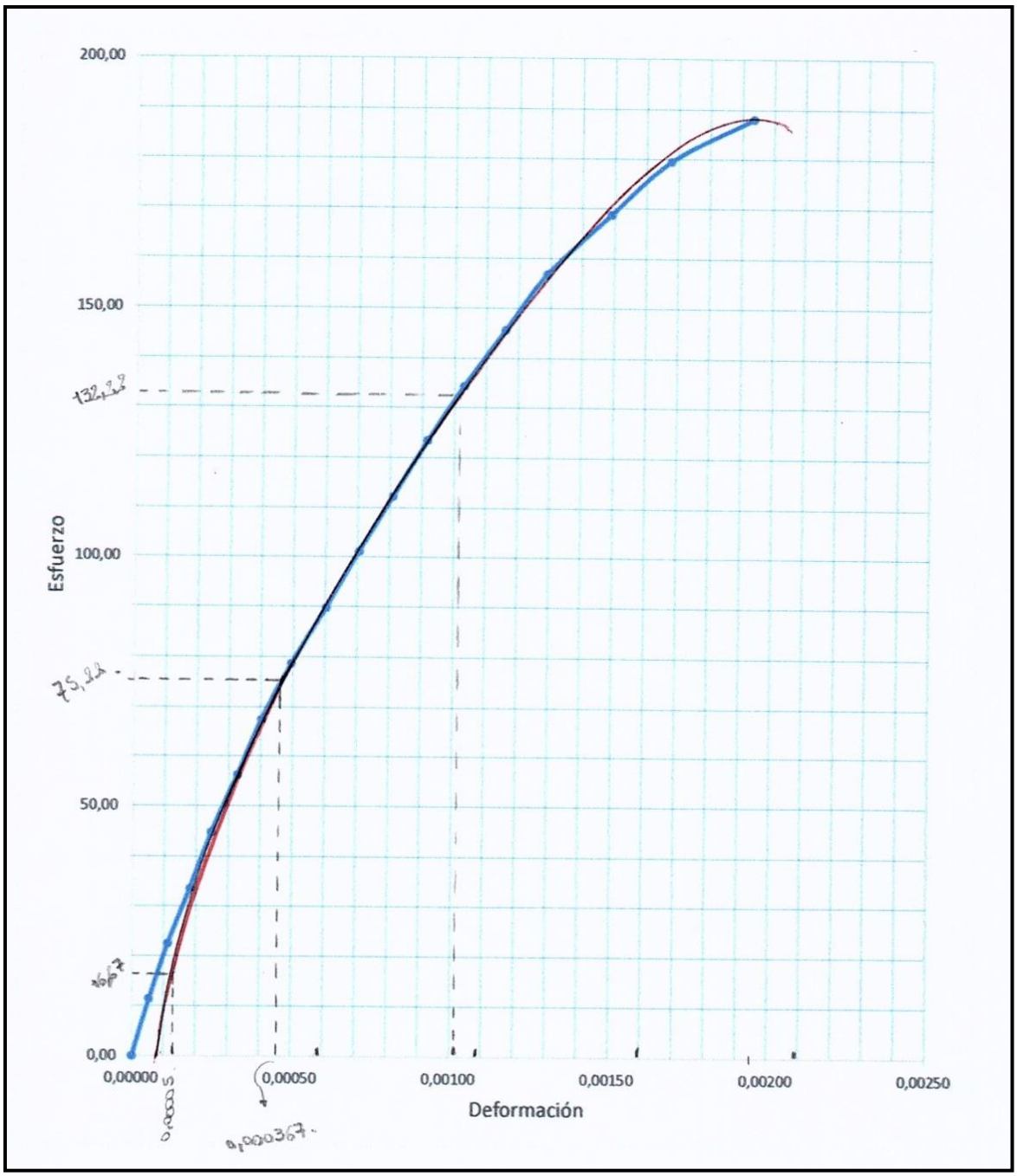


Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 20% de Arcilla

Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,022	20343	0,000108374	0,010929982	5,38423E-05	11,3779559
0,046	40254	0,000226601	0,022853598	0,000112579	22,5142917
0,074	60038	0,000364532	0,036764484	0,000181106	33,5795956
0,101	80119	0,000497537	0,050178553	0,000247185	44,8110134
0,134	100520	0,000660099	0,066573525	0,000327948	56,221409
0,164	120645	0,000807882	0,081478046	0,00040137	67,4774362
0,202	140589	0,000995074	0,100357105	0,00049437	78,6322291
0,246	160394	0,001211823	0,122217069	0,000602055	89,7092785
0,288	180758	0,001418719	0,143083398	0,000704844	101,09898
0,331	200637	0,001630542	0,164446544	0,000810081	112,217418
0,375	220569	0,001847291	0,186306507	0,000917766	123,365499
0,421	240092	0,002073892	0,209160105	0,001030345	134,284824
0,474	260361	0,002334975	0,235491425	0,001160056	145,621391
0,527	280274	0,002596059	0,261822745	0,001289767	156,758846
0,609	301537	0,003	0,302561768	0,001490452	168,651363
0,685	320837	0,003374384	0,340319886	0,001676453	179,445963
0,791	336800	0,003896552	0,392982526	0,001935875	188,37416

Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 188.37 kg/cm2

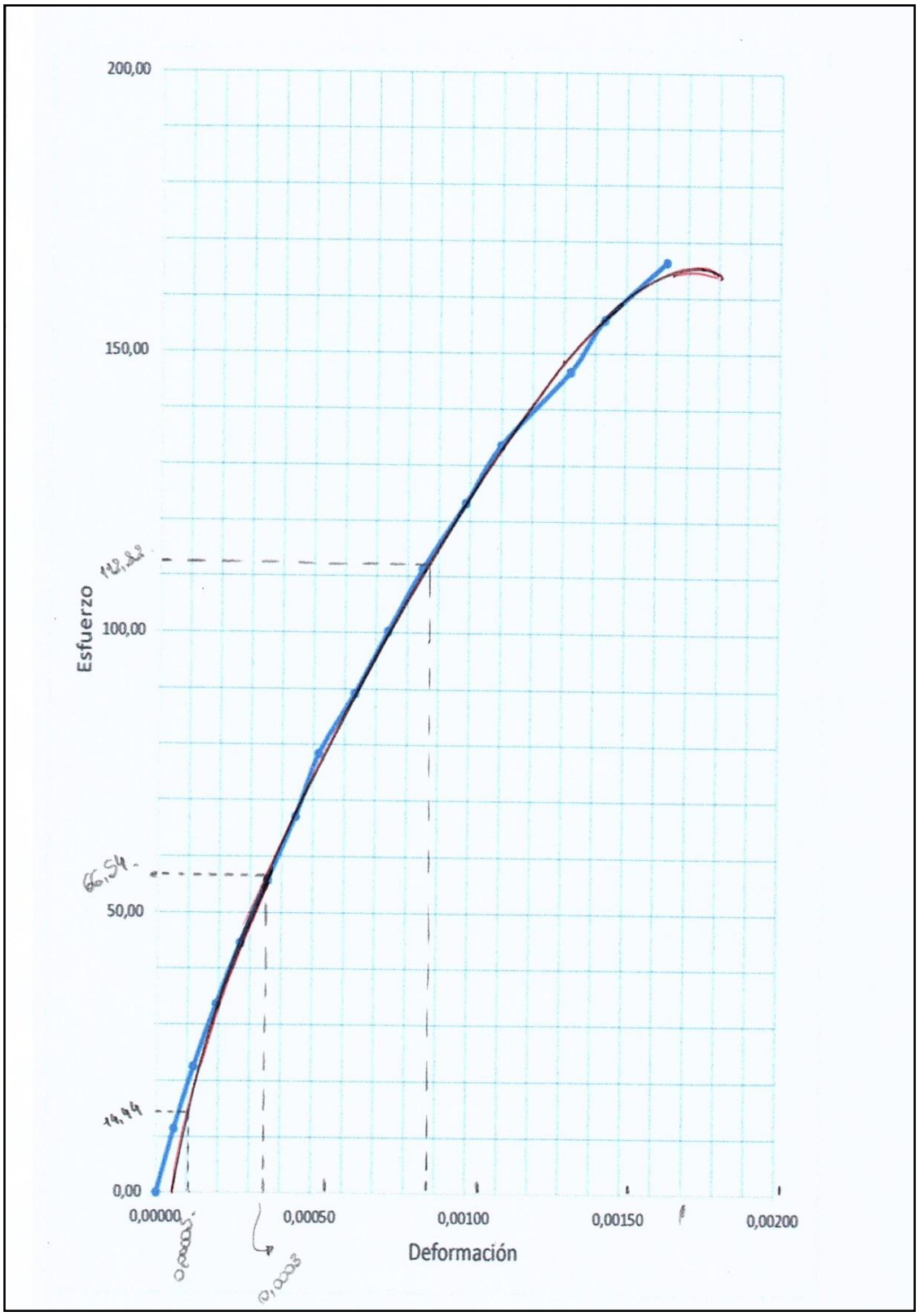


Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 30% de Arcilla

Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,022	20549	0,000108374	0,011383098	5,60744E-05	11,4173552
0,047	40443	0,000231527	0,024318436	0,000119795	22,4707818
0,075	60329	0,000369458	0,038806015	0,000191163	33,5197635
0,105	80296	0,000517241	0,054328421	0,000267628	44,6137501
0,139	100379	0,000684729	0,071920481	0,000354288	55,7721882
0,174	120743	0,000857143	0,090029954	0,000443497	67,0867544
0,203	140993	0,001	0,105034947	0,000517414	78,3379803
0,248	160503	0,001221675	0,128318556	0,000632111	89,1780504
0,290	180369	0,001428571	0,150049924	0,000739162	100,21592
0,333	200354	0,001640394	0,172298706	0,000848762	111,319907
0,387	221680	0,001906404	0,200239037	0,000986399	123,168976
0,431	240273	0,002123153	0,223005232	0,001098548	133,499546
0,519	263879	0,00255665	0,268537623	0,001322845	146,61542
0,562	280723	0,002768473	0,290786405	0,001432445	155,974218
0,64	299410	0,003152709	0,33114466	0,001631254	166,357016

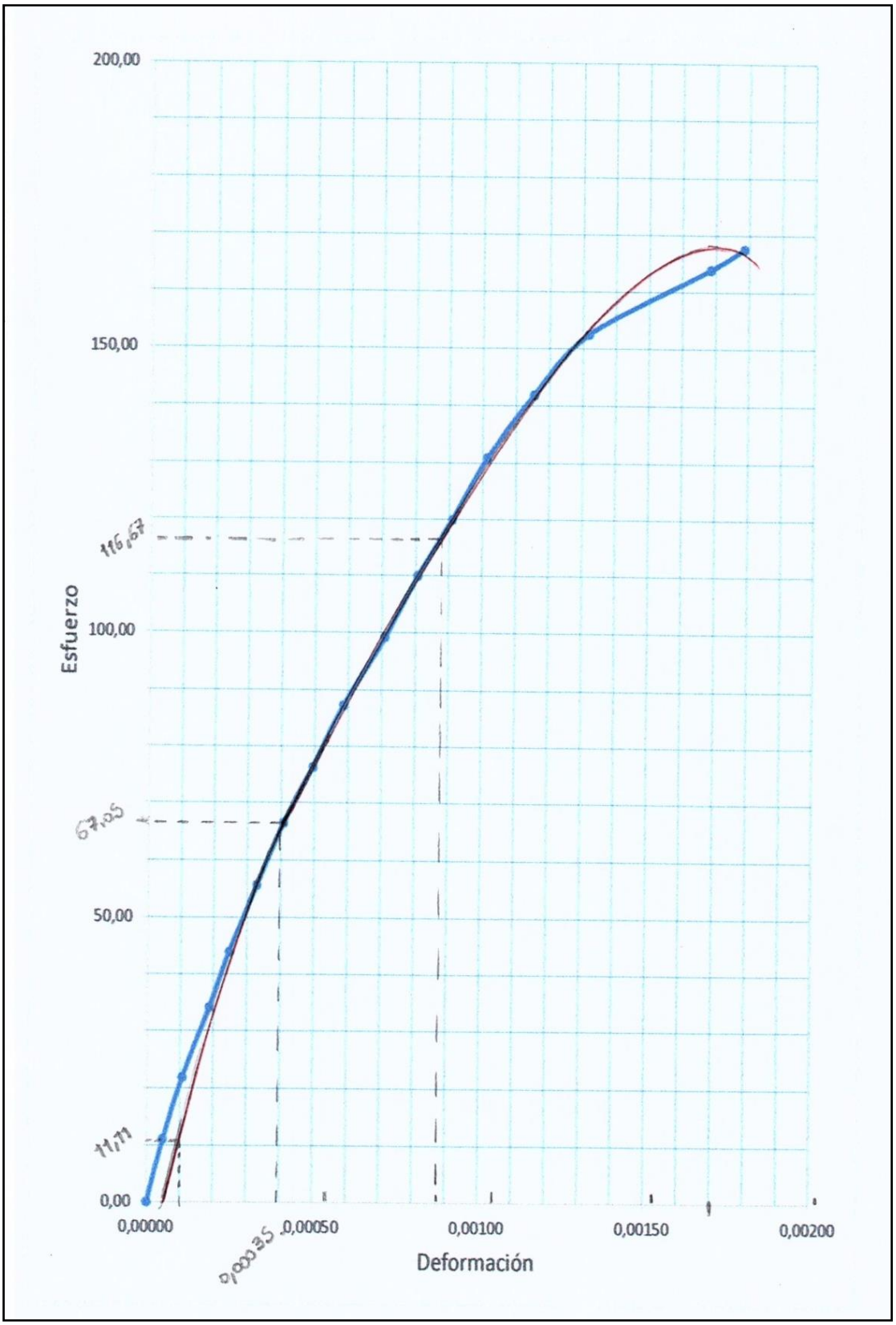
Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 166.36 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 30% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,02	20514	9,85222E-05	0,009903189	4,87842E-05	11,1536199
0,044	40236	0,000216749	0,021787015	0,000107325	21,8766233
0,077	62713	0,00037931	0,038127277	0,000187819	34,0975415
0,101	80733	0,000497537	0,050011104	0,00024636	43,8951544
0,135	102385	0,000665025	0,066846525	0,000329293	55,6675137
0,167	122201	0,00082266	0,082691627	0,000407348	66,4416256
0,203	140399	0,001	0,100517367	0,000495159	76,3360185
0,240	160486	0,001182266	0,118838266	0,00058541	87,2574752
0,291	182462	0,001433498	0,144091398	0,00070981	99,2059958
0,331	202233	0,001630542	0,163897775	0,000807378	109,955641
0,373	220507	0,001837438	0,184694472	0,000909825	119,891356
0,416	240714	0,002049261	0,205986328	0,001014711	130,878057
0,473	260789	0,002330049	0,234210416	0,001153746	141,792989
0,541	280371	0,002665025	0,267881258	0,001319612	152,439874
0,691	301535	0,003403941	0,342155174	0,001685493	163,946904
0,732	308312	0,003605911	0,362456712	0,001785501	167,631611

Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 167.63 kg/cm2

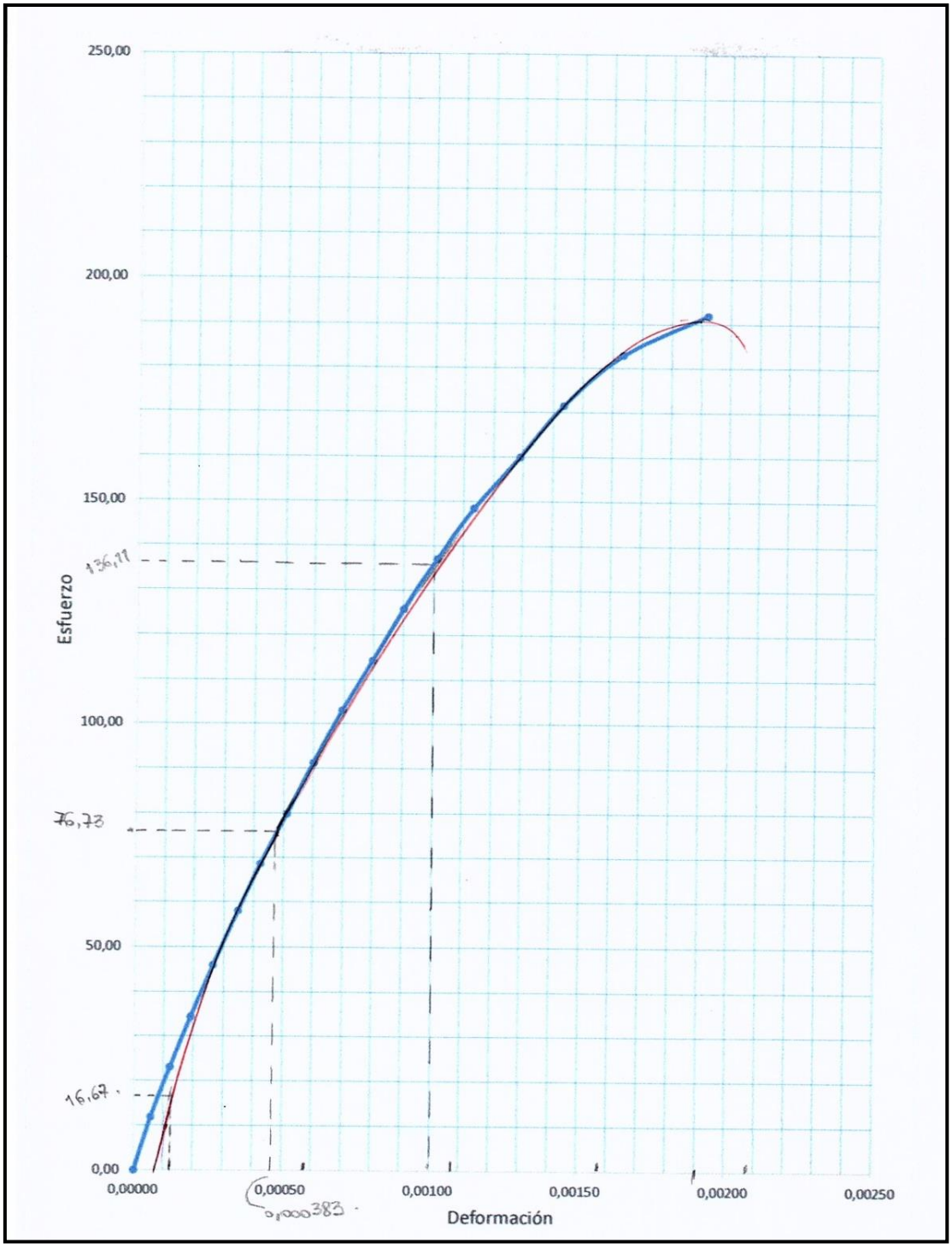


Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 30% de Arcilla

Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,024	20773	0,000118227	0,01164219	5,73507E-05	11,809903
0,051	40319	0,000251232	0,024739653	0,00012187	22,9222298
0,080	60457	0,000394089	0,038807299	0,000191169	34,3711214
0,111	80719	0,000546798	0,053845127	0,000265247	45,8905098
0,146	102054	0,000719212	0,07082332	0,000348883	58,0199221
0,177	120694	0,000871921	0,085861148	0,000422961	68,6171681
0,214	140337	0,001054187	0,103809524	0,000511377	79,7846415
0,251	160276	0,001236453	0,121757899	0,000599793	91,1203973
0,291	181037	0,001433498	0,141161549	0,000695377	102,923478
0,334	201012	0,00164532	0,162020472	0,00079813	114,279701
0,377	221216	0,001857143	0,182879395	0,000900884	125,766115
0,424	240942	0,00208867	0,205678683	0,001013195	136,980775
0,475	261089	0,002339901	0,230418336	0,001135066	148,434784
0,540	281297	0,002660099	0,261949266	0,00129039	159,923472
0,601	305800	0,002960591	0,291539831	0,001436157	173,853961

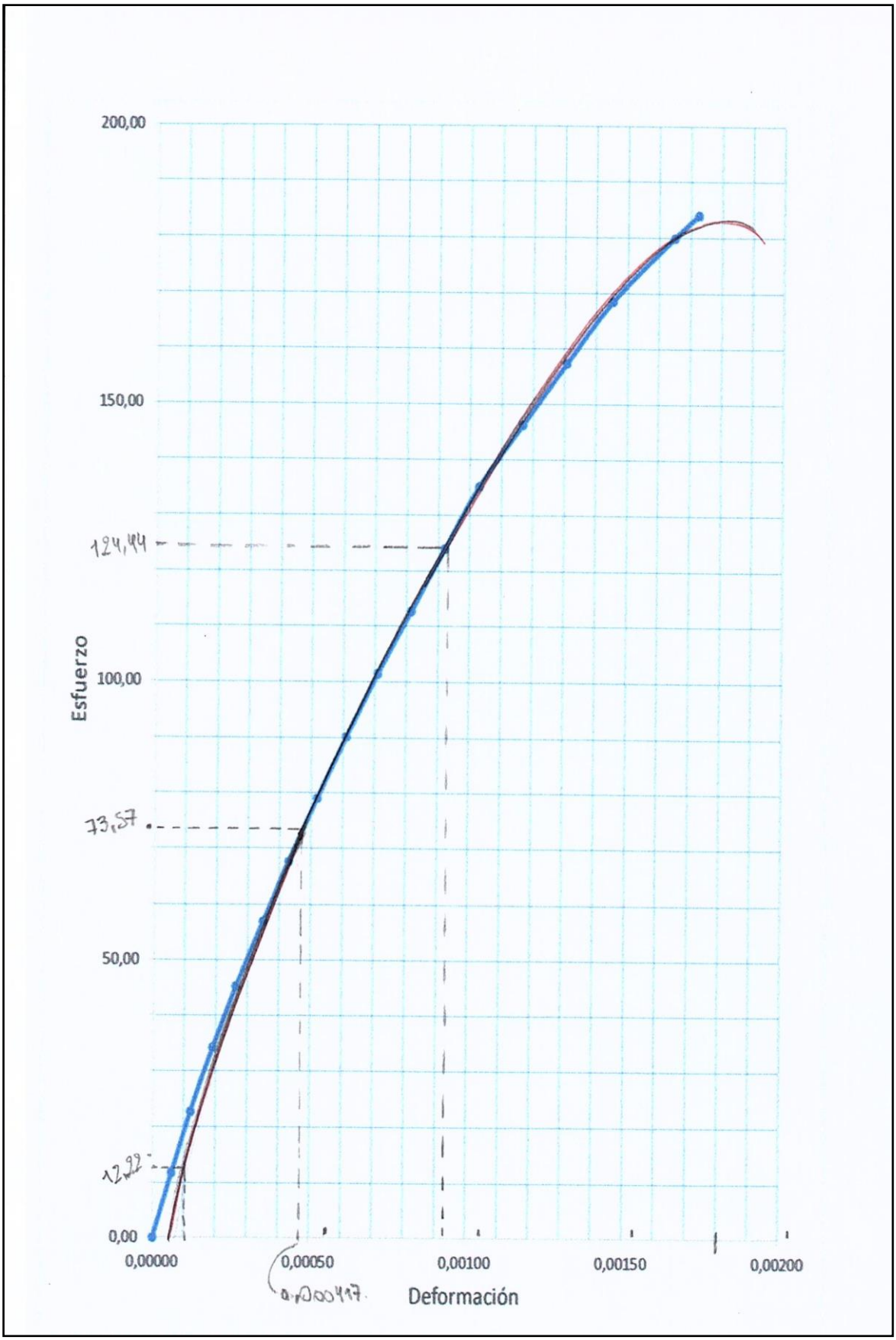
Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 173.85 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.53 con 30% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	210 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,024	20830	0,000118227	0,012228232	6,02376E-05	11,6940431
0,048	40385	0,000236453	0,024456464	0,000120475	22,6722963
0,076	60673	0,000374384	0,038722735	0,000190752	34,0620585
0,105	80462	0,000517241	0,053498515	0,000263539	45,1716802
0,139	101310	0,000684729	0,070821844	0,000348876	56,8758286
0,171	120354	0,000842365	0,087126154	0,000429193	67,5672044
0,207	140668	0,001019704	0,105468502	0,000519549	78,9715631
0,243	160374	0,001197044	0,12381085	0,000609906	90,0345883
0,283	180668	0,001394089	0,144191237	0,000710302	101,427719
0,325	200703	0,001600985	0,165590643	0,000815717	112,675446
0,367	220865	0,001807882	0,186990049	0,000921133	123,994471
0,410	240794	0,002019704	0,208898965	0,001029059	135,18269
0,465	260373	0,00229064	0,236921997	0,001167103	146,174416
0,521	280214	0,002566502	0,265454538	0,001307658	157,313231
0,579	300147	0,002852217	0,295006099	0,001453232	168,503695
0,657	320380	0,003236453	0,334747853	0,001649004	179,86258
0,687	327608	0,003384236	0,350033143	0,001724301	183,920407

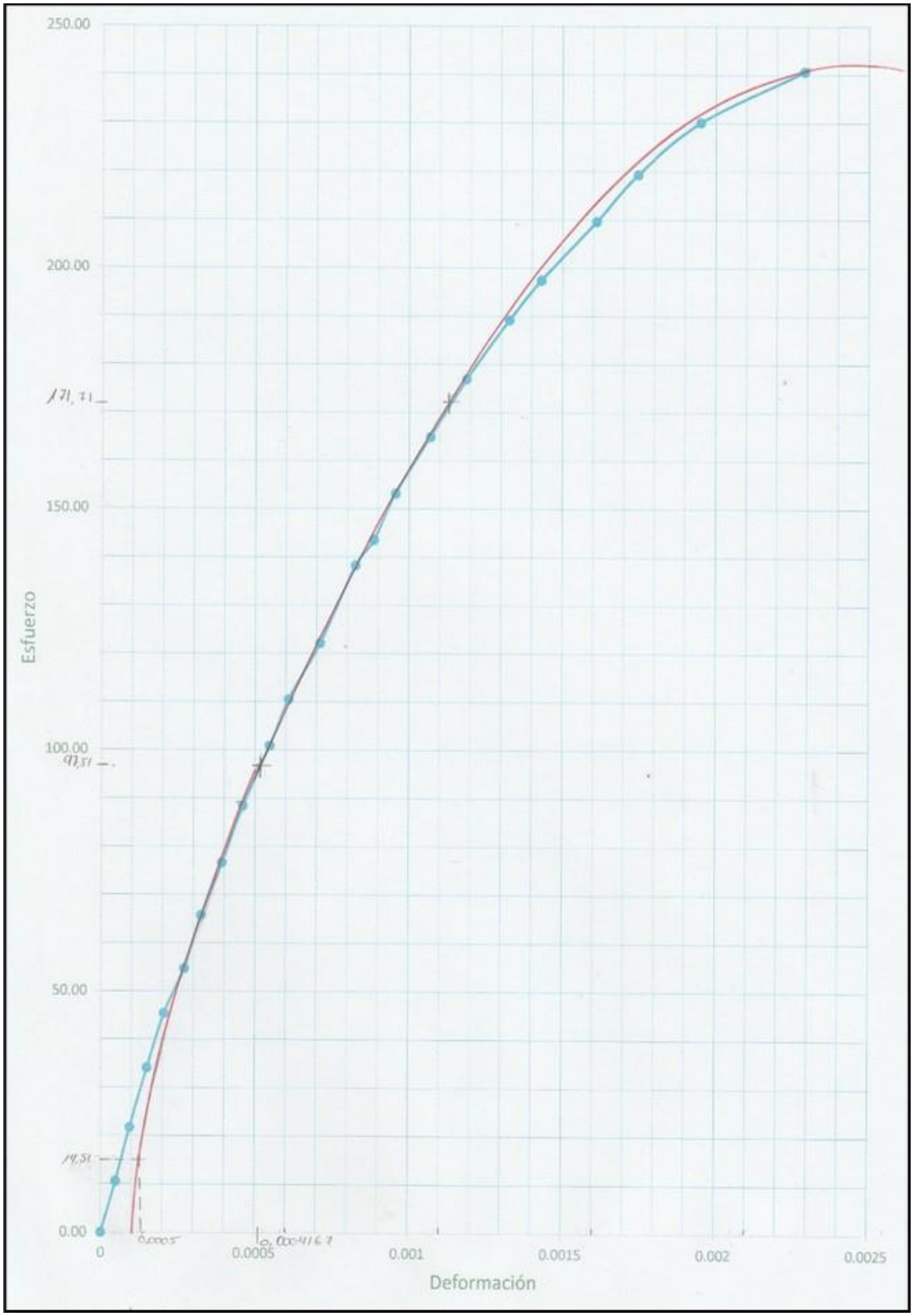
Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 183.92 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	528,13	0	0	0	0,288565722
0,02	19940	9,85222E-05	0,009773414	4,81449E-05	10,89504571
0,039	40336	0,000192118	0,019058157	9,38825E-05	22,03924592
0,062	62962	0,000305419	0,030297583	0,000149249	34,40189909
0,085	83530	0,000418719	0,041537009	0,000204616	45,64007864
0,112	100622	0,000551724	0,054731118	0,000269611	54,97900147
0,135	120826	0,000665025	0,065970544	0,000324978	66,01829452
0,163	140802	0,000802956	0,079653323	0,000392381	76,93301032
0,191	162388	0,000940887	0,093336103	0,000459784	88,72741638
0,227	185049	0,001118227	0,110928248	0,000546445	101,1091932
0,253	202687	0,001246305	0,123633686	0,000609033	110,7464458
0,295	223878	0,001453202	0,144157855	0,000710137	122,3250272
0,343	253489	0,001689655	0,167614048	0,000825685	138,5042248
0,368	263220	0,001812808	0,179830816	0,000885866	143,8211601
0,397	280727	0,001955665	0,194002266	0,000955676	153,3868353
0,444	302327	0,002187192	0,216969789	0,001068817	165,1888909
0,493	324218	0,002428571	0,240914653	0,001186772	177,1499463
0,551	346642	0,002714286	0,269257553	0,001326392	189,4022284
0,594	361646	0,002926108	0,290270393	0,001429903	197,6002859
0,669	383985	0,003295567	0,326920695	0,001610447	209,8061247
0,725	401758	0,003571429	0,354286254	0,001745252	219,5171401
0,81	421467	0,003990148	0,395823263	0,001949868	230,2859694
0,951	440818	0,004684729	0,464725831	0,00228929	240,8591905
1,075	446544	0,005295567	0,525320997	0,002587788	243,987828

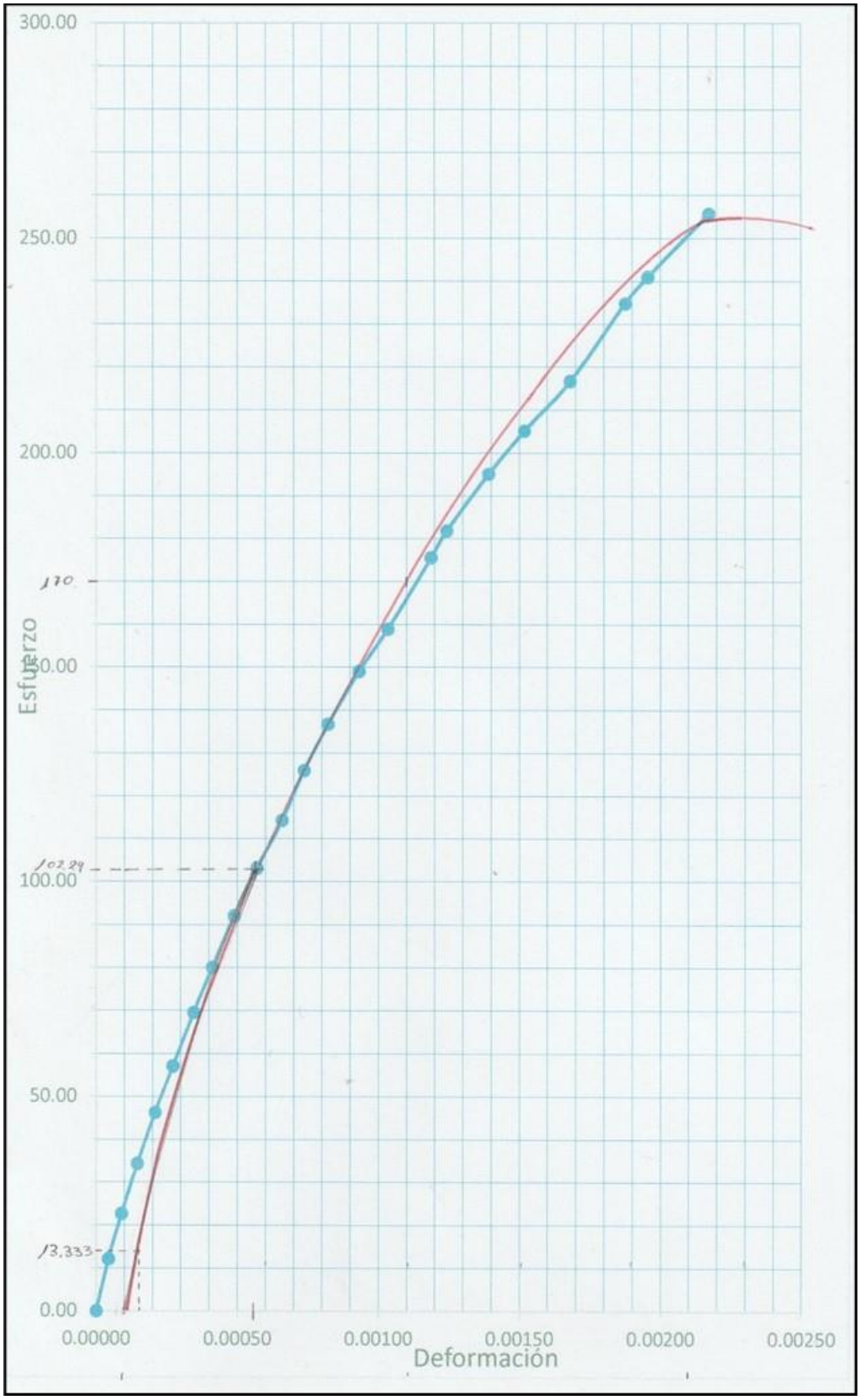
Módulo de Elasticidad – f'c = 243.99 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,018	21317	8,867E-05	0,0088878	4,37823E-05	12,14085951
0,037	39769	0,000182266	0,018269367	8,99969E-05	22,64999024
0,06	60446	0,000295567	0,029626001	0,000145941	34,4263449
0,086	81346	0,000423645	0,042463934	0,000209182	46,32970671
0,112	100212	0,000551724	0,055301868	0,000272423	57,07462652
0,142	122040	0,000699507	0,070114868	0,000345393	69,50652039
0,169	140583	0,000832512	0,083446569	0,000411067	80,06747915
0,201	161662	0,000990148	0,099247102	0,000488902	92,07278842
0,234	181093	0,001152709	0,115541403	0,000569169	103,1394977
0,271	200781	0,001334975	0,13381077	0,000659166	114,3525784
0,303	221212	0,001492611	0,149611304	0,000737001	125,9888265
0,338	240024	0,001665025	0,166893137	0,000822134	136,7029912
0,383	261711	0,0018867	0,189112638	0,000931589	149,0545801
0,425	279016	0,002093596	0,209850838	0,001033748	158,9104498
0,488	308058	0,002403941	0,240958139	0,001186986	175,4509969
0,511	319186	0,002517241	0,252314773	0,00124293	181,7888251
0,572	342465	0,002817734	0,28243454	0,001391303	195,0471198
0,624	360091	0,003073892	0,308110407	0,001517785	205,0858115
0,691	380386	0,003403941	0,341192775	0,001680753	216,6446023
0,771	412255	0,00379803	0,380694109	0,00187534	234,7952357
0,804	423061	0,003960591	0,39698841	0,001955608	240,9496724
0,893	453890	0,004399015	0,440933644	0,002172087	258,5079854

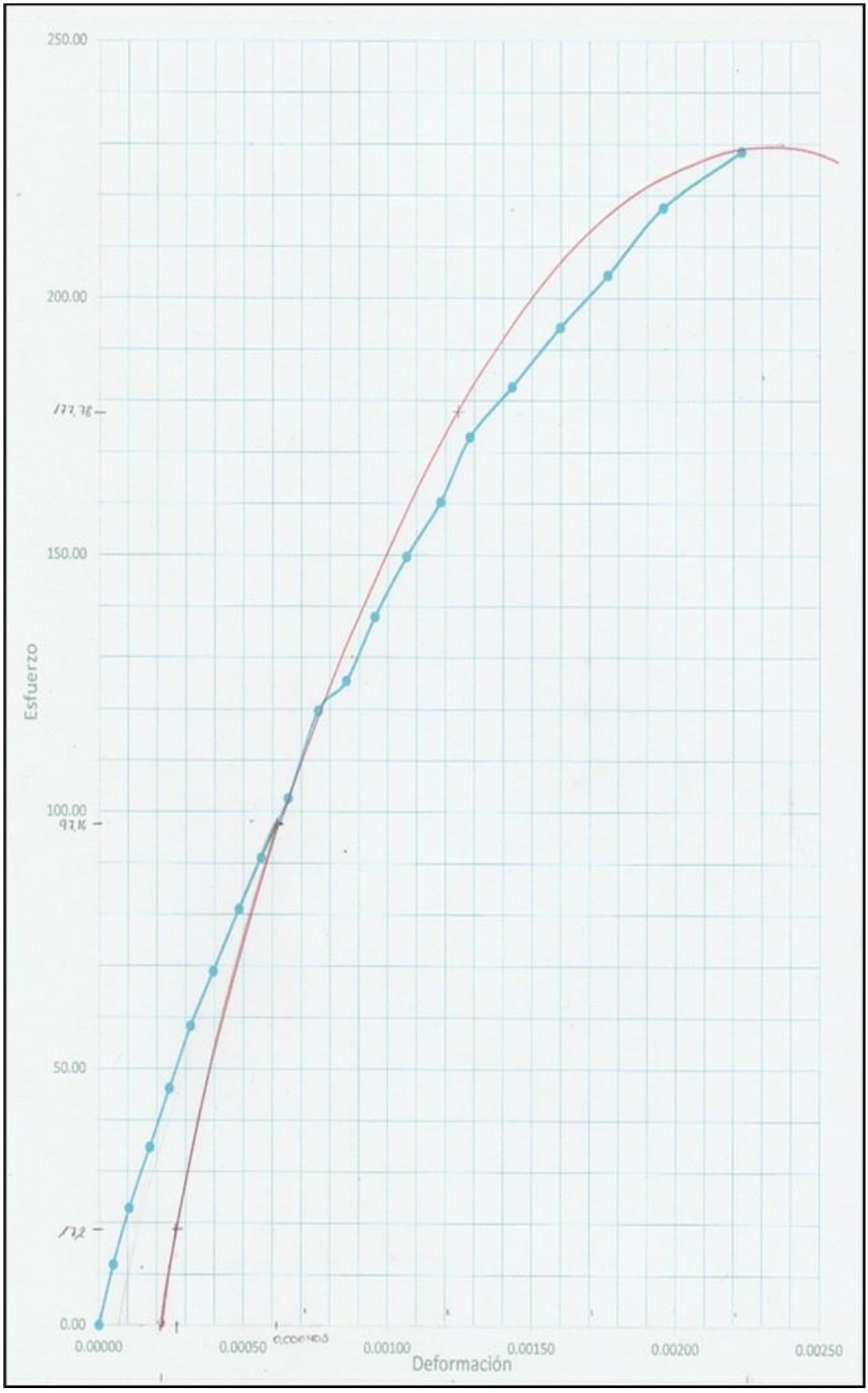
Módulo de Elasticidad – f'c = 258.51 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,019	20839	9,35961E-05	0,010088381	4,96965E-05	11,87885055
0,04	40007	0,000197044	0,021238697	0,000104624	22,80518134
0,067	60863	0,000330049	0,035574818	0,000175245	34,69372239
0,093	81023	0,000458128	0,049379971	0,000243251	46,18552272
0,121	102321	0,000596059	0,064247059	0,000316488	58,32601694
0,151	120908	0,000743842	0,080176082	0,000394956	68,92116043
0,185	142099	0,00091133	0,098228975	0,000483887	81,00066146
0,214	159762	0,001054187	0,11362703	0,000559739	91,06909743
0,25	180016	0,001231527	0,132741858	0,000653901	102,6144806
0,29	209894	0,001428571	0,153980555	0,000758525	119,6458303
0,327	219954	0,001610837	0,17362635	0,000855302	125,3803298
0,365	241984	0,00179803	0,193803113	0,000954695	137,9380859
0,407	262492	0,002004926	0,216103745	0,00106455	149,6282566
0,452	281107	0,002226601	0,239997279	0,001182253	160,2393609
0,491	303276	0,002418719	0,260705009	0,001284261	172,876351
0,547	320479	0,002694581	0,290439185	0,001430735	182,6825733
0,611	340761	0,003009852	0,324421101	0,001598134	194,2439173
0,674	358430	0,003320197	0,357872049	0,001762916	204,3157734
0,748	381585	0,003684729	0,397163639	0,001956471	217,5148129
0,852	400694	0,004197044	0,452384252	0,002228494	228,407512
0,972	420853	0,004788177	0,516100344	0,002542366	239,8987423
1,095	436200	0,005394089	0,581409338	0,002864085	248,6469893

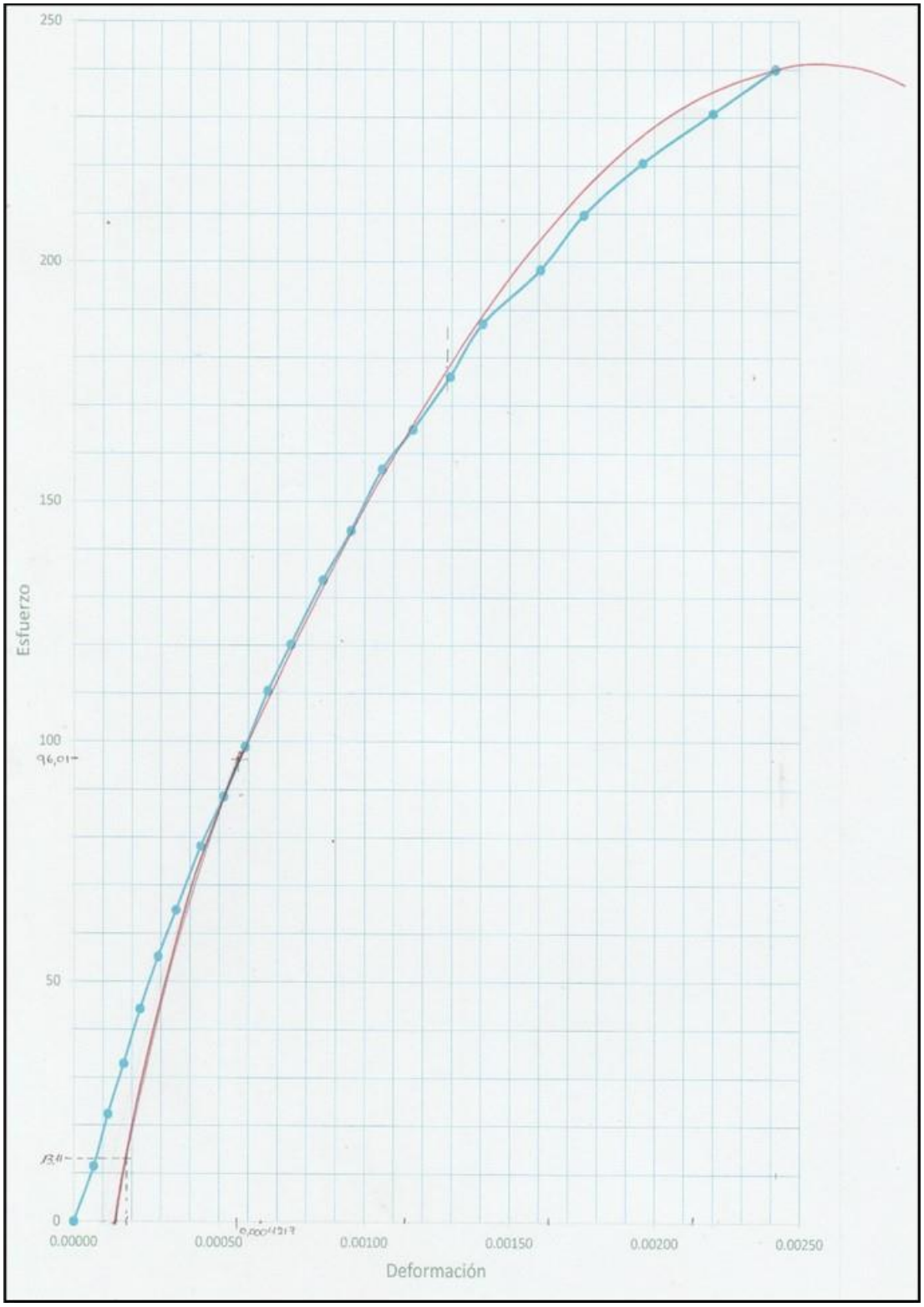
Módulo de Elasticidad – f'c = 248.65 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,028	20943	0,000137931	0,013950229	6,87203E-05	11,55449293
0,048	40846	0,000236453	0,023914678	0,000117806	22,53520594
0,07	60047	0,000344828	0,034875573	0,000171801	33,12861752
0,093	80744	0,000458128	0,04633469	0,00022825	44,54738943
0,118	100665	0,000581281	0,058790251	0,000289607	55,53803326
0,143	118321	0,000704433	0,071245813	0,000350965	65,27905064
0,178	142684	0,000876847	0,088683599	0,000436865	78,72039674
0,21	161510	0,001034483	0,104626718	0,000515403	89,10691652
0,24	180413	0,001182266	0,119573392	0,000589031	99,53591809
0,272	201786	0,001339901	0,135516511	0,000667569	111,3276469
0,304	219241	0,001497537	0,15145963	0,000746107	120,9577703
0,349	243786	0,001719212	0,173879641	0,00085655	134,4995279
0,388	262538	0,00191133	0,193310318	0,000952268	144,845221
0,432	285882	0,002128079	0,215232106	0,001060257	157,7243732
0,475	301023	0,002339901	0,236655672	0,001165791	166,0778362
0,527	321122	0,002596059	0,262563241	0,001293415	177,1666847
0,573	341243	0,00282266	0,285481474	0,001406313	188,2676708
0,654	361617	0,003221675	0,325837494	0,001605111	199,5082399
0,715	382574	0,003522167	0,356229065	0,001754823	211,0704568
0,798	402333	0,003931034	0,397581529	0,00195853	221,9717234
0,897	421066	0,004418719	0,446905554	0,002201505	232,306934
0,985	437780	0,004852217	0,490749131	0,002417483	241,5282392

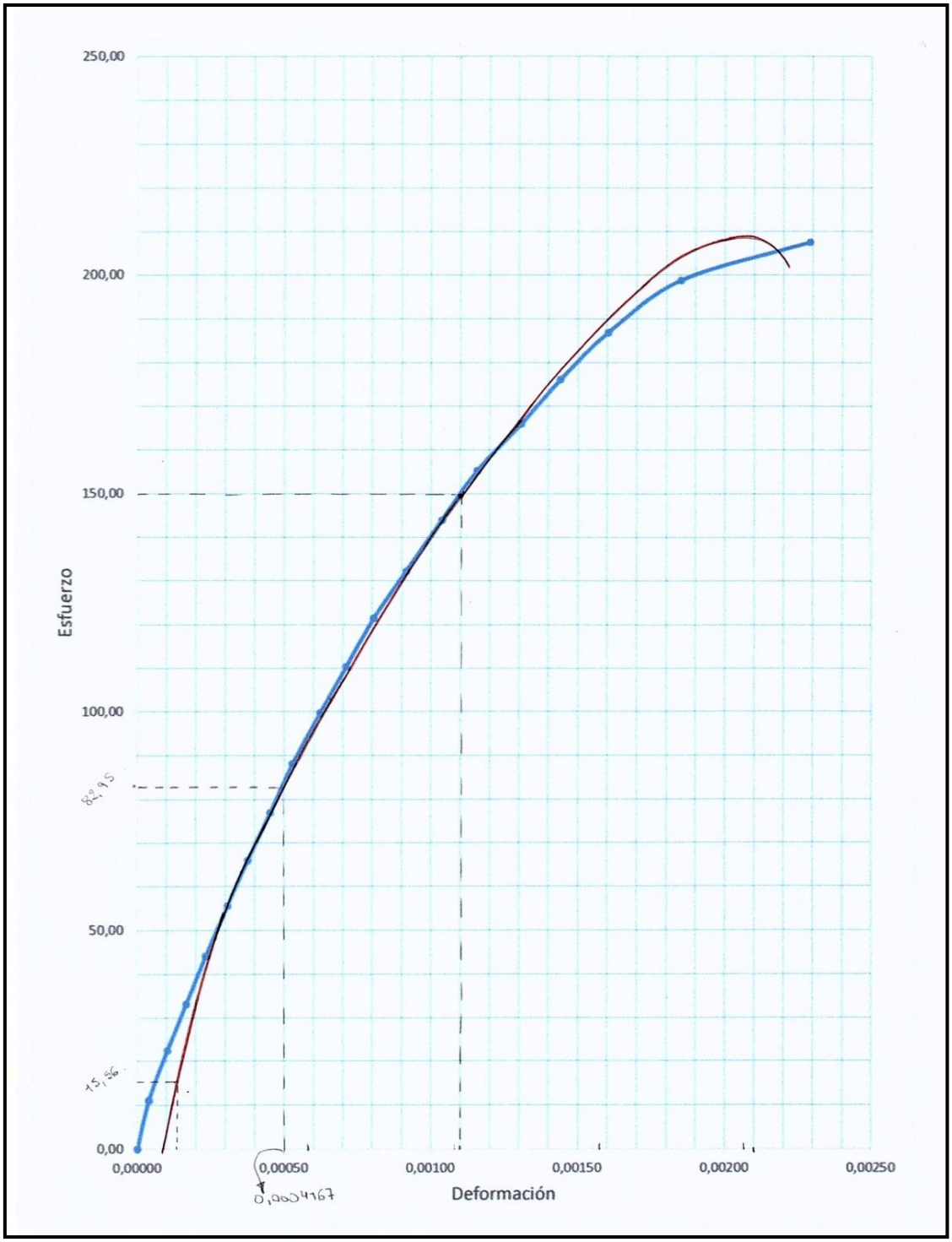
Módulo de Elasticidad – f'c = 241.53 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,016	20065	7,88177E-05	0,007999676	3,94073E-05	11,0226192
0,042	40707	0,000206897	0,020999148	0,000103444	22,3622108
0,068	60258	0,000334975	0,033998621	0,000167481	33,1024664
0,095	80334	0,00046798	0,047498074	0,000233981	44,1311284
0,125	101052	0,000615764	0,062497466	0,000307869	55,5124703
0,153	120036	0,000753695	0,076496898	0,000376832	65,9412469
0,184	140052	0,000906404	0,091996269	0,000453184	76,9369482
0,215	160286	0,001059113	0,107495641	0,000529535	88,0524068
0,253	181379	0,001246305	0,12649487	0,000623127	99,6397533
0,289	200812	0,001423645	0,144494141	0,000711794	110,315186
0,327	221096	0,001610837	0,16349337	0,000805386	121,458112
0,372	240449	0,001832512	0,185992458	0,000916219	132,089597
0,421	262026	0,002073892	0,210491464	0,001036904	143,942827
0,47	282728	0,002315271	0,234990471	0,001157589	155,315379
0,531	301916	0,002615764	0,265489234	0,001307829	165,856222
0,585	320416	0,002881773	0,292488139	0,001440828	176,019116
0,651	340089	0,003206897	0,325486801	0,001603383	186,826391
0,751	361744	0,003699507	0,375484774	0,001849679	198,72247
0,832	377504	0,004098522	0,415983131	0,002049178	207,380157

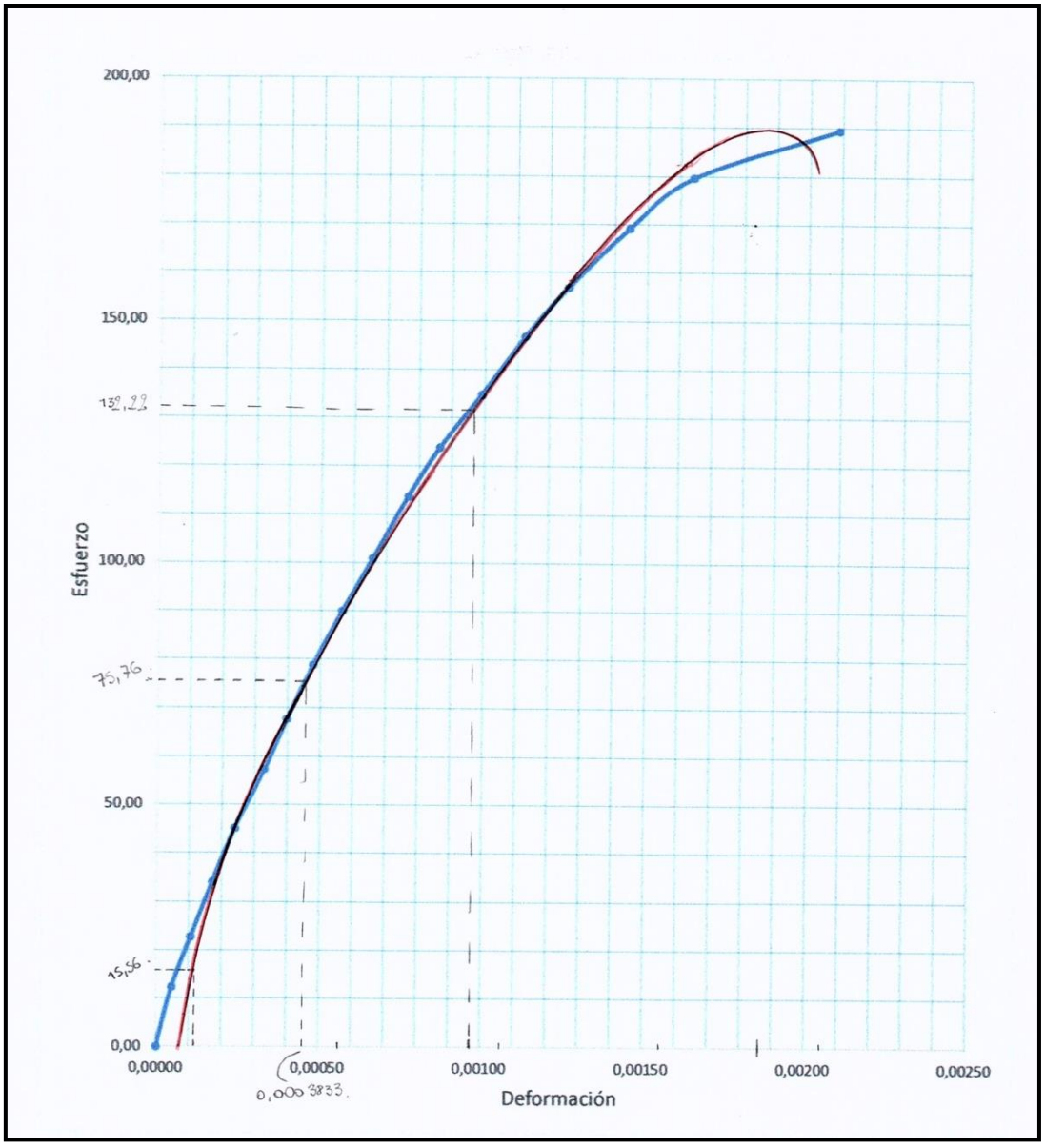
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 207.38 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,019	21913	9,35961E-05	0,009706214	4,78139E-05	12,2673226
0,042	40509	0,000206897	0,021455842	0,000105694	22,6777242
0,068	60641	0,000334975	0,03473803	0,000171123	33,9480084
0,095	80396	0,00046798	0,048531071	0,000239069	45,0072407
0,131	102267	0,00064532	0,066921793	0,000329664	57,2510509
0,158	120775	0,000778325	0,080714834	0,00039761	67,6121884
0,190	140524	0,000935961	0,097062142	0,000478139	78,6680618
0,225	160607	0,001108374	0,114942011	0,000566217	89,9109149
0,262	180157	0,00129064	0,133843586	0,000659328	100,855384
0,305	202985	0,001502463	0,155810281	0,000767538	113,634942
0,343	221008	0,001689655	0,17522271	0,000863166	123,724567
0,394	240584	0,001940887	0,201276232	0,000991509	134,683591
0,447	262167	0,00220197	0,228351461	0,001124884	146,766173
0,500	280160	0,002463054	0,255426691	0,00125826	156,839004
0,574	302095	0,002827586	0,293229841	0,001444482	169,118643
0,652	320837	0,003211823	0,333076405	0,00164077	179,610778
0,704	340561	0,00346798	0,359640781	0,001771629	190,652656
0,752	362145	0,003704433	0,384161743	0,001892422	202,735798
0,83	384200	0,00408867	0,424008307	0,002088711	215,082615

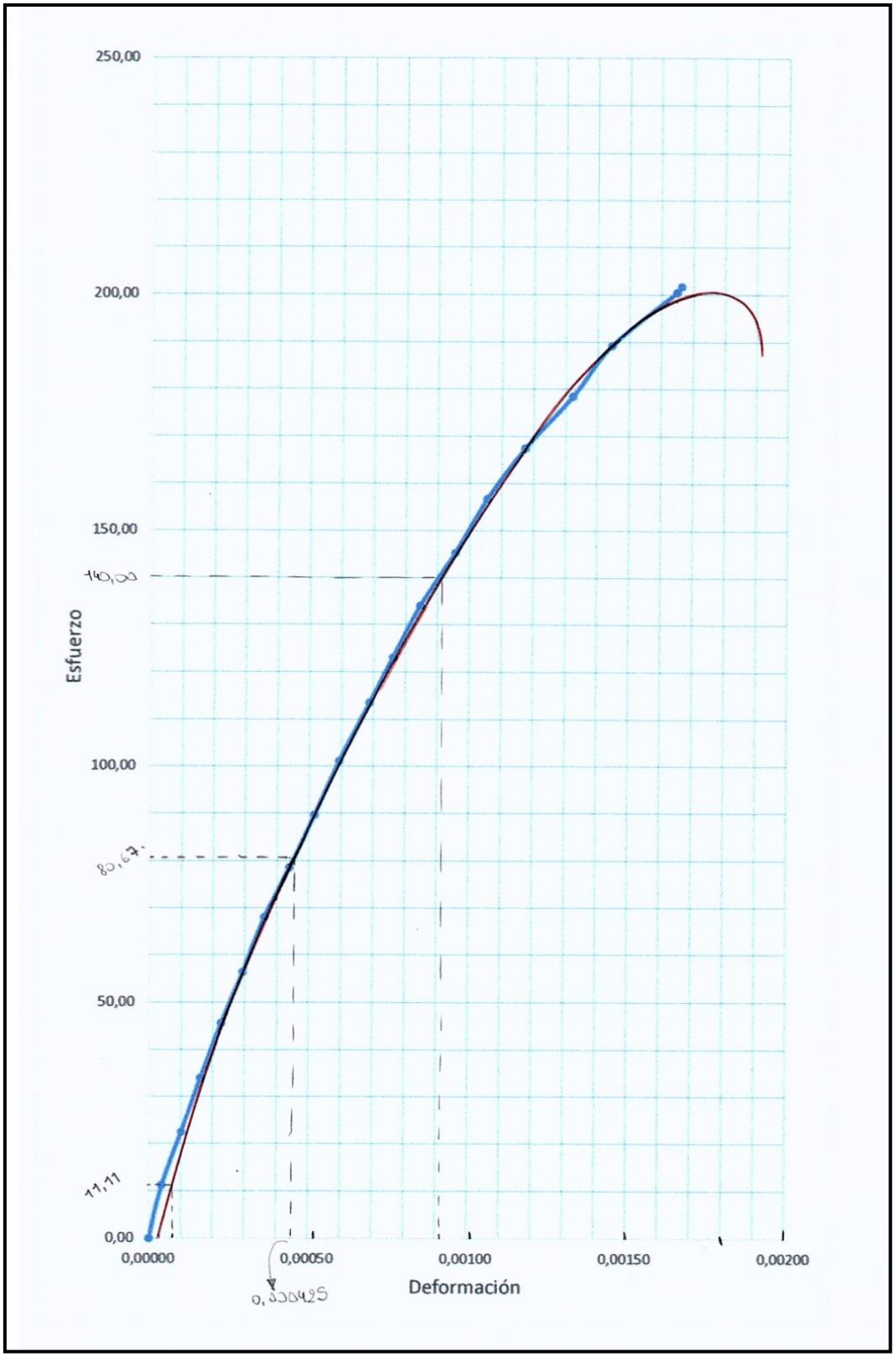
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 215.08 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,016	20109	7,88177E-05	0,008065968	3,97338E-05	11,1897178
0,041	40290	0,00020197	0,020669044	0,000101818	22,4195002
0,065	60886	0,000320197	0,032767996	0,000161419	33,8802107
0,091	81897	0,000448276	0,045875194	0,000225986	45,5718493
0,118	101166	0,000581281	0,059486516	0,000293037	56,2941464
0,145	122178	0,000714286	0,073097837	0,000360088	67,9863414
0,177	141185	0,000871921	0,089229773	0,000439556	78,5628477
0,208	161038	0,001024631	0,104857587	0,00051654	89,6101135
0,239	181520	0,00117734	0,1204854	0,000593524	101,007388
0,277	203851	0,001364532	0,139642075	0,000687892	113,433545
0,307	221210	0,001512315	0,154765765	0,000762393	123,093017
0,341	240839	0,001679803	0,171905947	0,000846827	134,015637
0,385	261090	0,001896552	0,19408736	0,000956095	145,284371
0,425	281631	0,002093596	0,214252281	0,00105543	156,714477
0,473	300879	0,002330049	0,238450185	0,001174631	167,425088
0,533	320584	0,002625616	0,268697566	0,001323633	178,39000
0,582	340009	0,002866995	0,293399594	0,001445318	189,199103
0,664	360234	0,003270936	0,334737681	0,001648954	200,453369
0,684	381502	0,003369458	0,344820141	0,001698621	212,288016
0,721	395300	0,003551724	0,363472693	0,001790506	219,965958

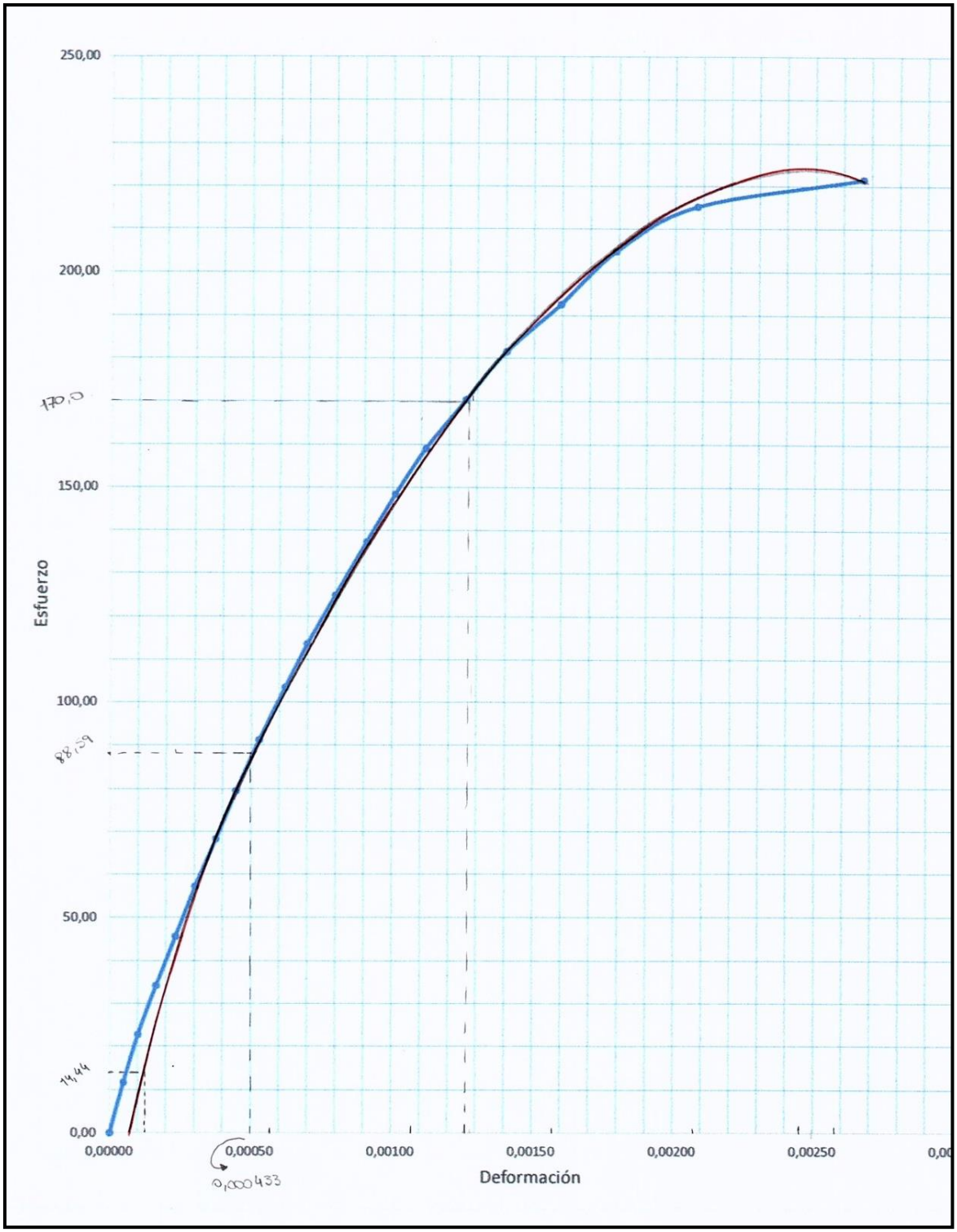
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 219.97 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,02	20509	9,85222E-05	0,01	4,92611E-05	11,6075234
0,041	40021	0,00020197	0,0205	0,000100985	22,6507726
0,067	60420	0,000330049	0,0335	0,000165025	34,1960391
0,095	80486	0,00046798	0,0475	0,00023399	45,5528369
0,123	100961	0,000605911	0,0615	0,000302956	57,1411172
0,153	120575	0,000753695	0,0765	0,000376847	68,2420956
0,182	140329	0,000896552	0,091	0,000448276	79,42231
0,215	161070	0,001059113	0,1075	0,000529557	91,161139
0,252	182563	0,001241379	0,126	0,00062069	103,325579
0,284	200698	0,001399015	0,142	0,000699507	113,589485
0,324	220474	0,001596059	0,162	0,00079803	124,78215
0,369	242444	0,001817734	0,1845	0,000908867	137,216559
0,410	262142	0,002019704	0,205	0,001009852	148,365079
0,454	281094	0,002236453	0,227	0,001118227	159,091384
0,512	300915	0,002522167	0,256	0,001261084	170,309518
0,570	320859	0,002807882	0,285	0,001403941	181,597268
0,648	340237	0,003192118	0,324	0,001596059	192,564677
0,727	361834	0,003581281	0,3635	0,00179064	204,787978
0,844	380134	0,004157635	0,422	0,002078818	215,145269
0,941	391300	0,004635468	0,4705	0,002317734	221,464914

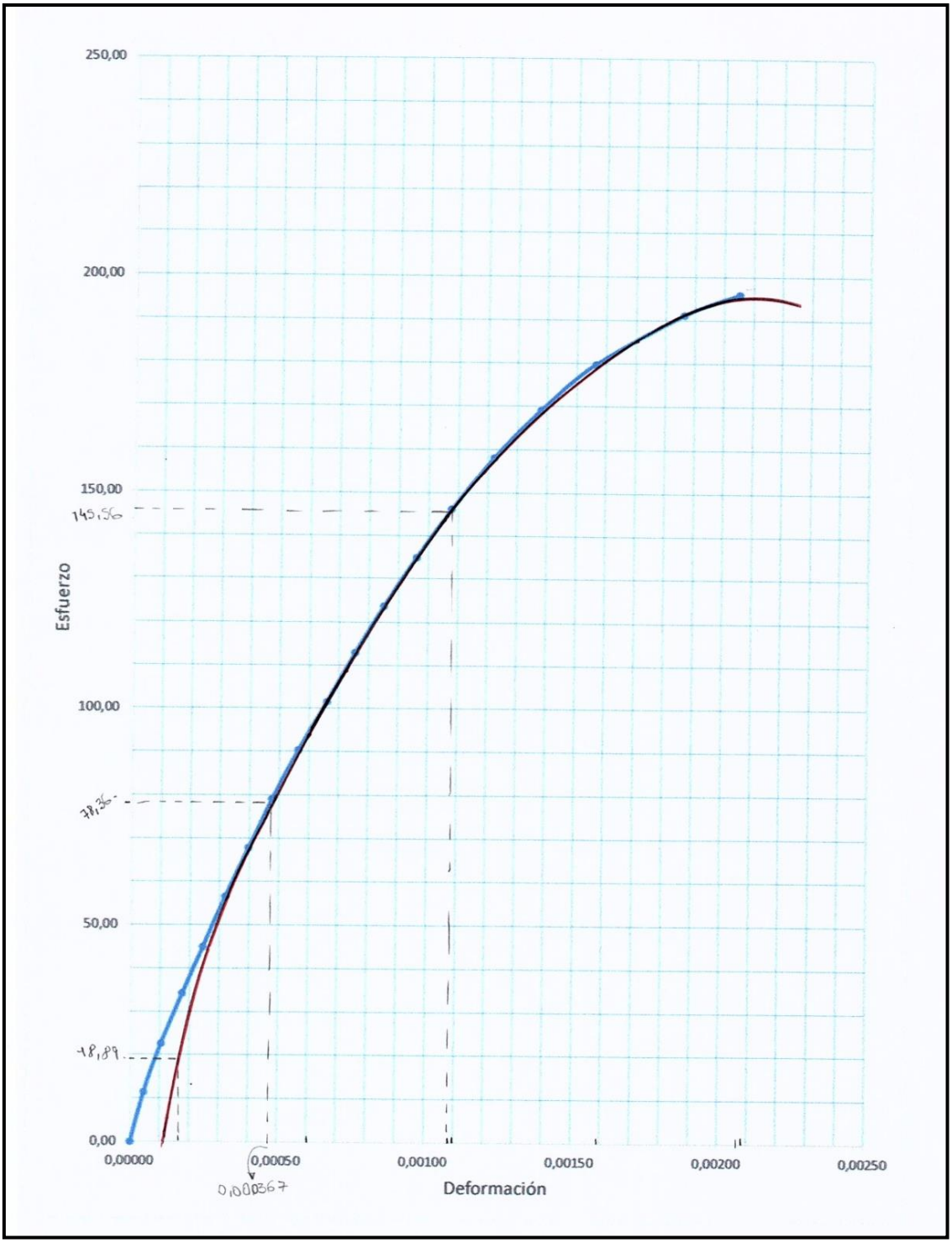
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 221.46 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,018	20202	8,867E-05	0,009316778	4,58955E-05	11,342974
0,041	40183	0,00020197	0,021221549	0,00010454	22,5618614
0,069	60962	0,000339901	0,035714314	0,000175933	34,2288081
0,096	80124	0,000472906	0,049689481	0,000244776	44,9878452
0,125	100444	0,000615764	0,064699845	0,000318718	56,3970736
0,156	120638	0,000768473	0,080745406	0,000397761	67,7355558
0,187	140863	0,000921182	0,096790967	0,000476803	79,0914438
0,221	160781	0,00108867	0,114389325	0,000563494	90,2749581
0,259	180676	0,001275862	0,134058078	0,000660385	101,445558
0,296	201110	0,001458128	0,153209232	0,000754725	112,918795
0,334	220225	0,00164532	0,172877985	0,000851616	123,651443
0,377	240167	0,001857143	0,195134731	0,000961255	134,848433
0,423	260268	0,002083744	0,218944274	0,001078543	146,134697
0,479	281390	0,002359606	0,247929804	0,001221329	157,994231
0,541	300889	0,002665025	0,280020927	0,001379413	168,942486
0,614	320055	0,003024631	0,317805636	0,001565545	179,703769
0,731	340488	0,003600985	0,378364691	0,001863865	191,176445
0,805	362500	0,003965517	0,416666999	0,002052547	203,535693

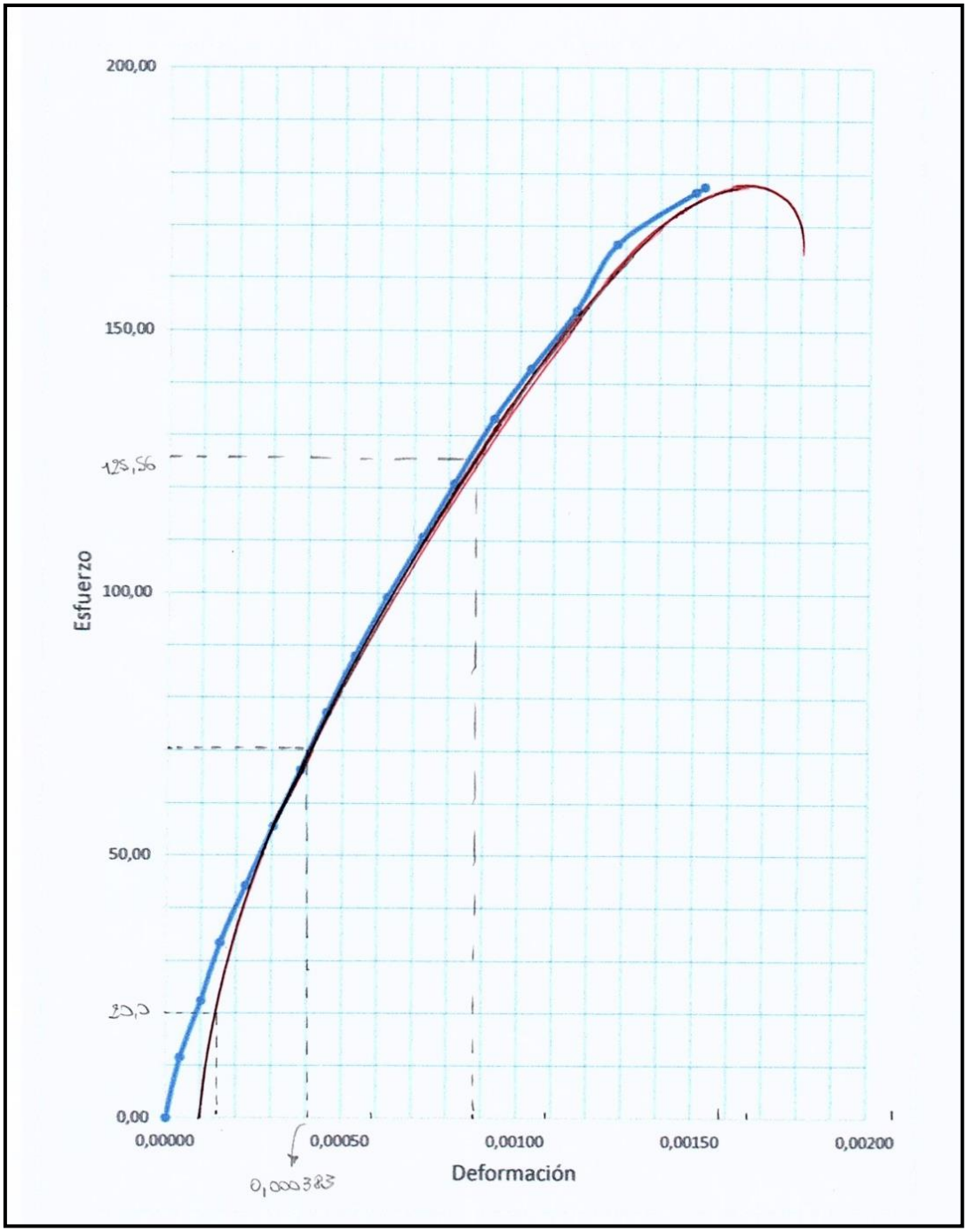
Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 203.54 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,016	20971	7,88177E-05	0,008075862	3,97826E-05	11,5053515
0,040	40730	0,000197044	0,020189655	9,94564E-05	22,3457616
0,062	60839	0,000305419	0,031293966	0,000154157	33,3781927
0,091	80539	0,000448276	0,045931466	0,000226263	44,1862336
0,122	101216	0,000600985	0,061578448	0,000303342	55,5302874
0,153	120819	0,000753695	0,077225431	0,000380421	66,285111
0,183	140601	0,000901478	0,092367672	0,000455013	77,1381396
0,215	160281	0,001059113	0,108519397	0,000534578	87,9352078
0,251	180610	0,001236453	0,126690086	0,000624089	99,0883379
0,292	201565	0,001438424	0,147384483	0,000726032	110,584911
0,328	220228	0,001615764	0,165555172	0,000815543	120,824021
0,373	242961	0,001837438	0,188268534	0,000927431	133,296061
0,415	260280	0,002044335	0,209467672	0,00103186	142,797811
0,467	280295	0,002300493	0,235714224	0,001161154	153,77867
0,513	303371	0,002527094	0,258932328	0,001275529	166,438891
0,571	321643	0,002812808	0,288207328	0,001419741	176,463486
0,625	341105	0,003078818	0,315463362	0,001554007	187,140953
0,672	355700	0,003310345	0,339186207	0,001670868	195,14823

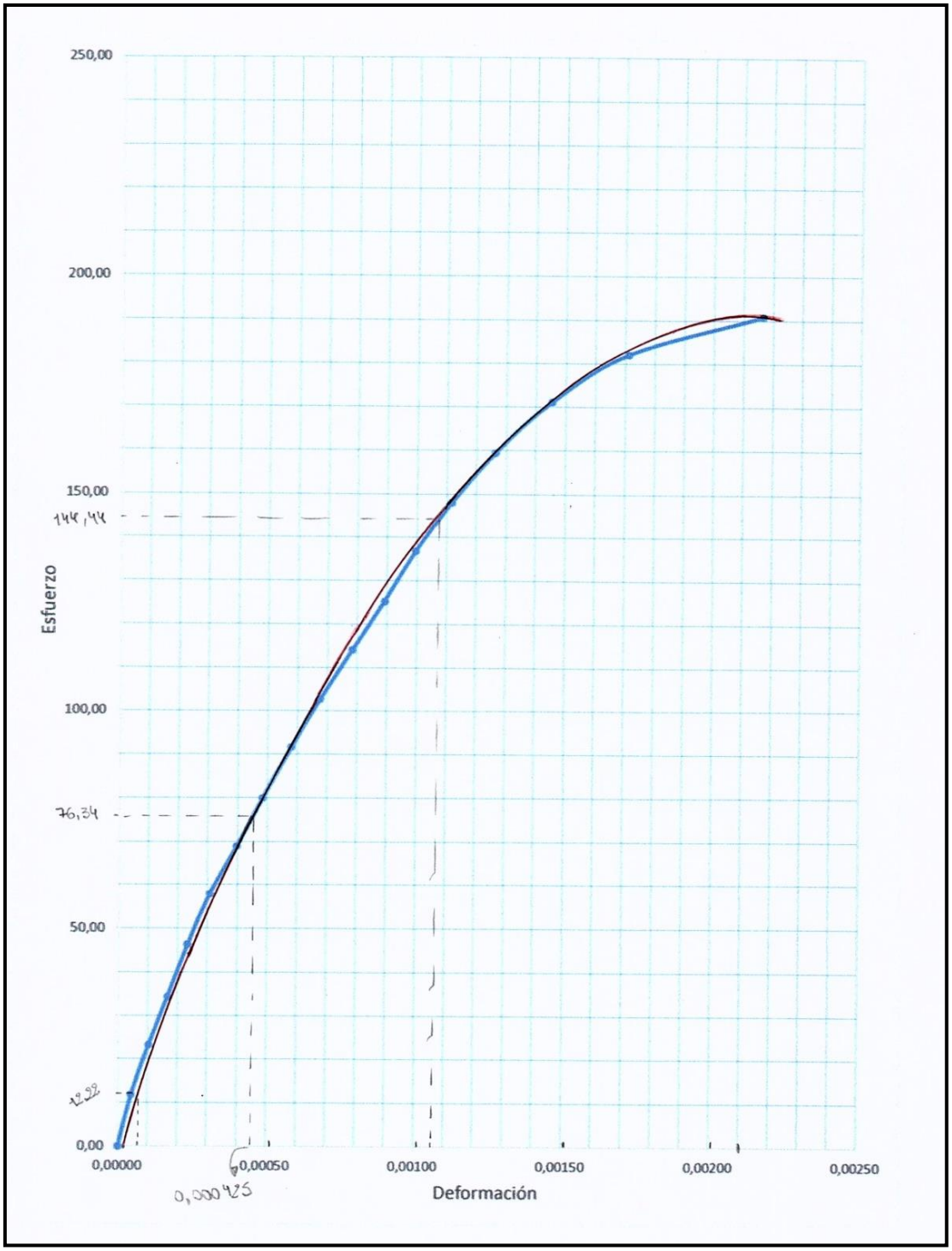
Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 195.15 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,018	20715	8,867E-05	0,008986198	4,4267E-05	11,7473709
0,042	40851	0,000206897	0,020967795	0,00010329	23,1663939
0,068	60596	0,000334975	0,033947859	0,000167231	34,3636828
0,095	81636	0,00046798	0,047427156	0,000233631	46,2953596
0,125	101985	0,000615764	0,062404152	0,00030741	57,8351738
0,162	121430	0,00079803	0,080875782	0,000398403	68,8623342
0,197	140905	0,000970443	0,098348944	0,000484478	79,9065074
0,236	161459	0,001162562	0,11781904	0,000580389	91,5625761
0,275	180910	0,00135468	0,137289135	0,000676301	102,593139
0,319	201061	0,001571429	0,159255397	0,000784509	114,020668
0,363	220756	0,001788177	0,181221659	0,000892718	125,189603
0,405	241045	0,001995074	0,202189454	0,000996007	136,695391
0,454	260902	0,002236453	0,226651882	0,001116512	147,956195
0,514	281125	0,00253202	0,256605875	0,001264068	159,424555
0,591	301635	0,00291133	0,295046833	0,001453433	171,055671
0,672	321026	0,003310345	0,335484723	0,001652634	182,052209
0,732	336519	0,003605911	0,365438717	0,001800191	190,83821
0,815	362125	0,004014778	0,406875074	0,002004311	205,359242
0,881	375300	0,004339901	0,439824466	0,002166623	212,830717

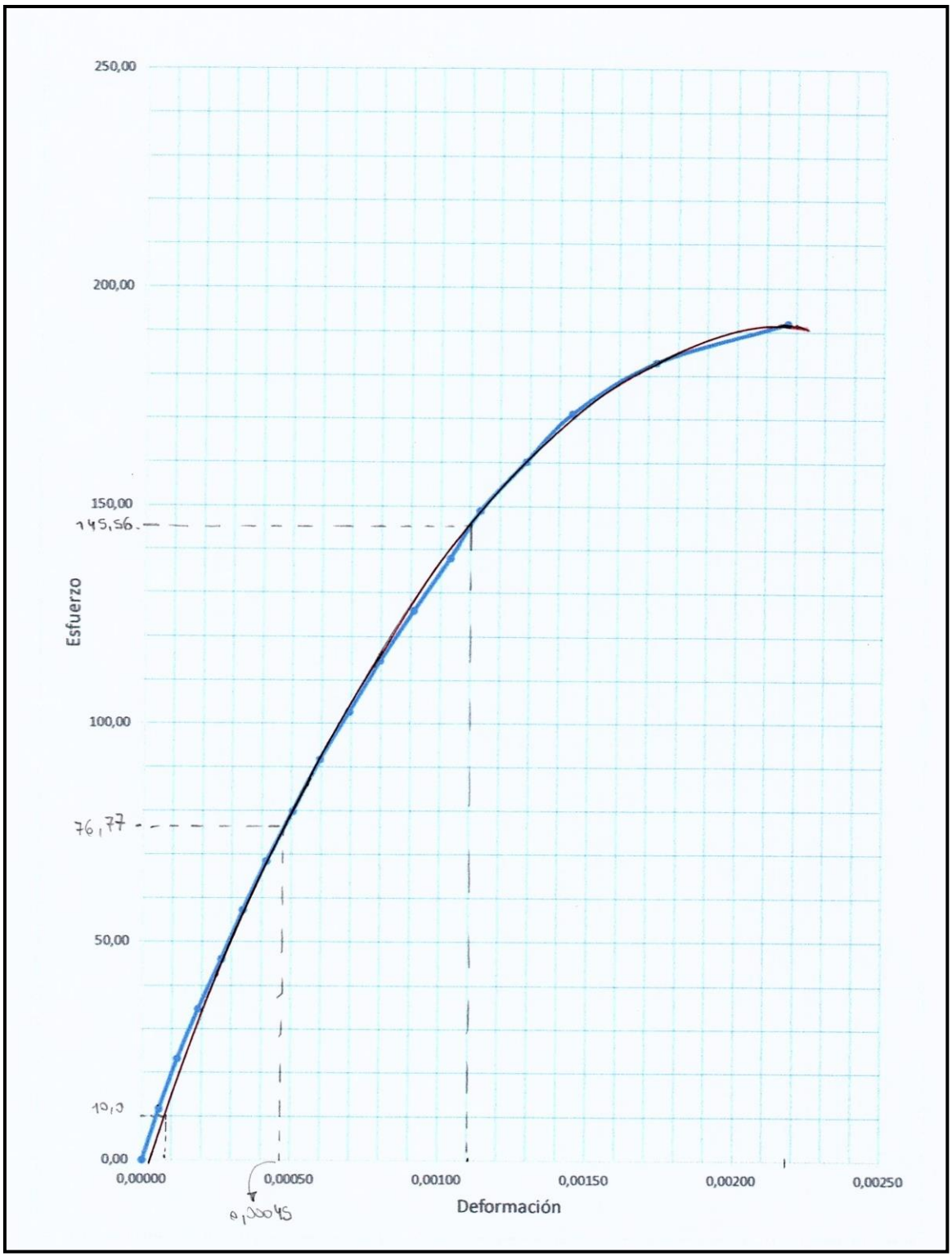
Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 212.83 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,023	20398	0,0001133	0,01148186	5,65609E-05	11,6236143
0,048	40633	0,000236453	0,023962142	0,00011804	23,1543445
0,076	60680	0,000374384	0,037940058	0,000186897	34,5779447
0,108	80785	0,00053202	0,05391482	0,00026559	46,0345956
0,137	100289	0,000674877	0,068391947	0,000336906	57,1487721
0,169	120073	0,000832512	0,084366709	0,0004156	68,4225041
0,205	140069	0,001009852	0,102338315	0,00050413	79,8170424
0,242	160876	0,001192118	0,120809133	0,000595119	91,6737216
0,282	180067	0,001389163	0,140777585	0,000693486	102,609538
0,324	200785	0,001596059	0,161744459	0,000796771	114,415501
0,370	220891	0,00182266	0,184708179	0,000909893	125,872722
0,420	241963	0,002068966	0,209668744	0,001032851	137,880409
0,461	261276	0,002270936	0,230136407	0,001133677	148,885746
0,524	281009	0,002581281	0,261586718	0,001288605	160,130416
0,587	300170	0,002891626	0,29303703	0,001443532	171,049137
0,632	320935	0,0031133	0,315501538	0,001554195	182,881883
0,722	342802	0,00355665	0,360430554	0,00177552	195,342594
0,838	356800	0,004128079	0,418339065	0,002060784	203,319226

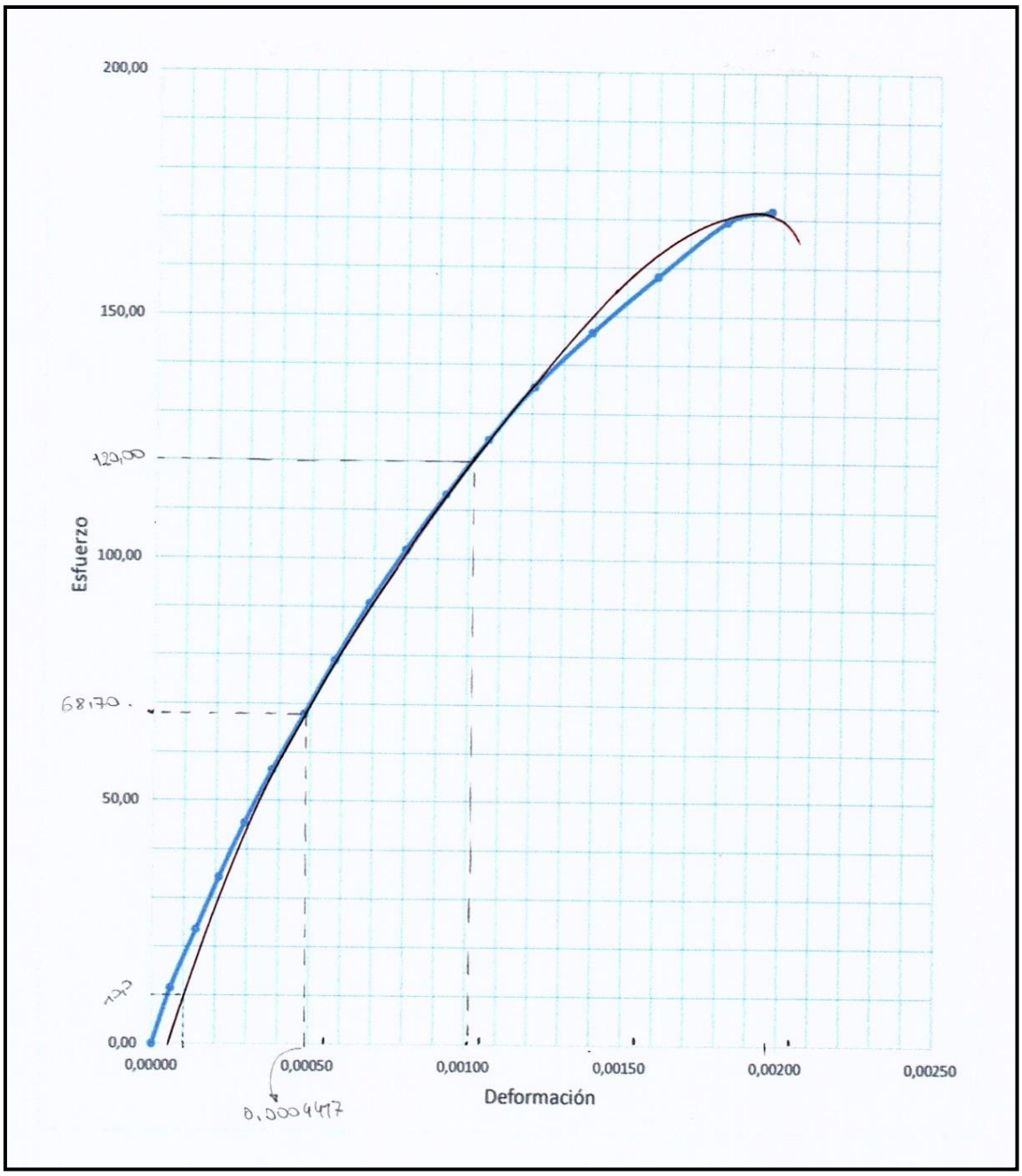
Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 203.32 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 30% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,023	20274	0,0001133	0,011862065	5,84338E-05	11,41490217
0,055	41986	0,000270936	0,028365807	0,000139733	23,63944375
0,083	60880	0,000408867	0,042806582	0,00021087	34,27736235
0,115	80535	0,000566502	0,059310324	0,000292169	45,34374797
0,149	100134	0,00073399	0,076845551	0,00037855	56,37860383
0,189	120573	0,000931034	0,097475229	0,000480174	67,88640621
0,227	140031	0,001118227	0,117073423	0,000576716	78,84187461
0,270	161103	0,001330049	0,139250327	0,000685962	90,70607598
0,315	180873	0,001551724	0,162458715	0,000800289	101,8372102
0,365	200946	0,00179803	0,188245812	0,000927319	113,1389431
0,418	220979	0,002059113	0,215580135	0,001061971	124,4181546
0,475	240519	0,002339901	0,244977427	0,001206785	135,4197916
0,547	260452	0,002694581	0,282110847	0,001389709	146,6427000
0,629	280828	0,003098522	0,324401687	0,001598038	158,1150314
0,716	301003	0,003527094	0,369271237	0,00181907	169,4741935
0,772	305063	0,003802956	0,398152786	0,001961344	171,7601017

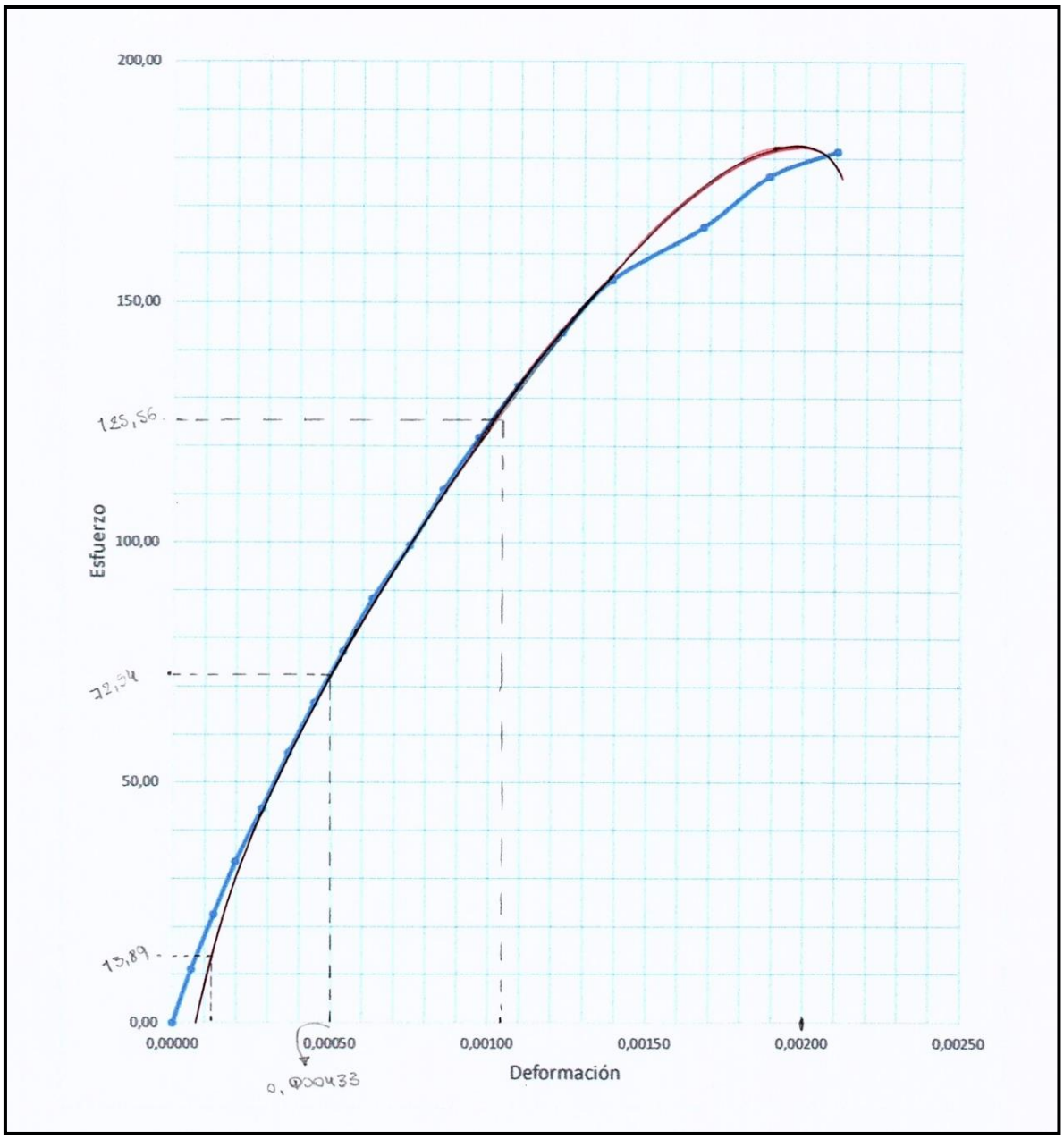
Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 171.76 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 30% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,023	20048	0,0001133	0,011860936	5,84283E-05	11,03911297
0,051	40968	0,000251232	0,026300337	0,000129558	22,5583789
0,078	60862	0,000384236	0,040224045	0,000198148	33,51269422
0,111	80652	0,000546798	0,05724191	0,00028198	44,40974359
0,144	101972	0,00070936	0,074259775	0,000365812	56,14926317
0,176	120926	0,000866995	0,090761947	0,000447103	66,58598241
0,212	140182	0,001044335	0,109326891	0,000538556	77,18899315
0,249	160150	0,001226601	0,128407528	0,000632549	88,18405539
0,295	180519	0,001453202	0,1521294	0,000749406	99,39992192
0,337	201487	0,001660099	0,173788501	0,000856101	110,9456183
0,381	221088	0,001876847	0,196478988	0,000967877	121,7385978
0,430	240792	0,002118227	0,221747939	0,001092354	132,5882926
0,485	260982	0,002389163	0,250111048	0,001232074	143,7055957
0,547	280735	0,002694581	0,282084007	0,001389576	154,5822716
0,661	300789	0,003256158	0,340872995	0,001679177	165,6246883
0,743	320097	0,003660099	0,383159812	0,001887487	176,2563321
0,828	329300	0,004078818	0,426993707	0,002103417	181,3238179

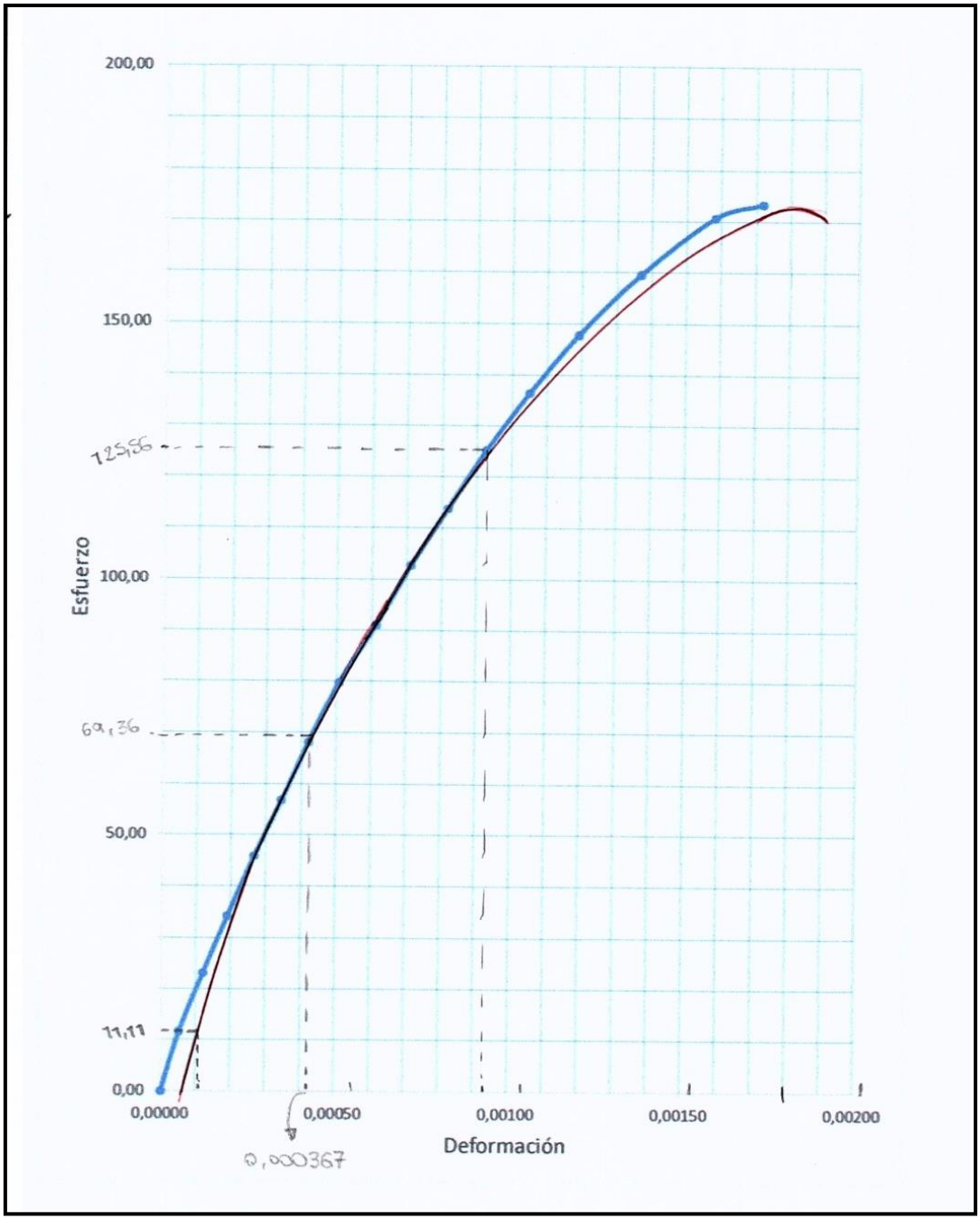
Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 181.35 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.494 con 30% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	240 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,021	20483	0,000103448	0,01054068	5,19245E-05	11,61426767
0,049	40752	0,000241379	0,02459492	0,000121157	23,10719309
0,077	60161	0,00037931	0,038649159	0,00019039	34,11248143
0,108	80735	0,00053202	0,05420921	0,00026704	45,77834791
0,139	100058	0,000684729	0,069769261	0,000343691	56,73487254
0,170	120092	0,000837438	0,085329313	0,000420341	68,0945483
0,205	140376	0,001009852	0,102897112	0,000506882	79,59597901
0,248	160468	0,001221675	0,124480409	0,000613204	90,98854192
0,288	181144	0,001418719	0,144557894	0,000712108	102,7122444
0,331	200657	0,001630542	0,166141191	0,00081843	113,7765028
0,375	220668	0,001847291	0,188226425	0,000927224	125,1231371
0,425	240549	0,002093596	0,213323282	0,001050854	136,3960588
0,482	260508	0,002374384	0,241933698	0,001191792	147,7132081
0,554	281214	0,002729064	0,278073172	0,001369819	159,4539212
0,640	300989	0,003152709	0,321239765	0,001582462	170,6667388
0,696	315800	0,003428571	0,349348245	0,001720927	179,0648699
0,828	329300	0,004078818	0,426993707	0,002103417	181,3238179

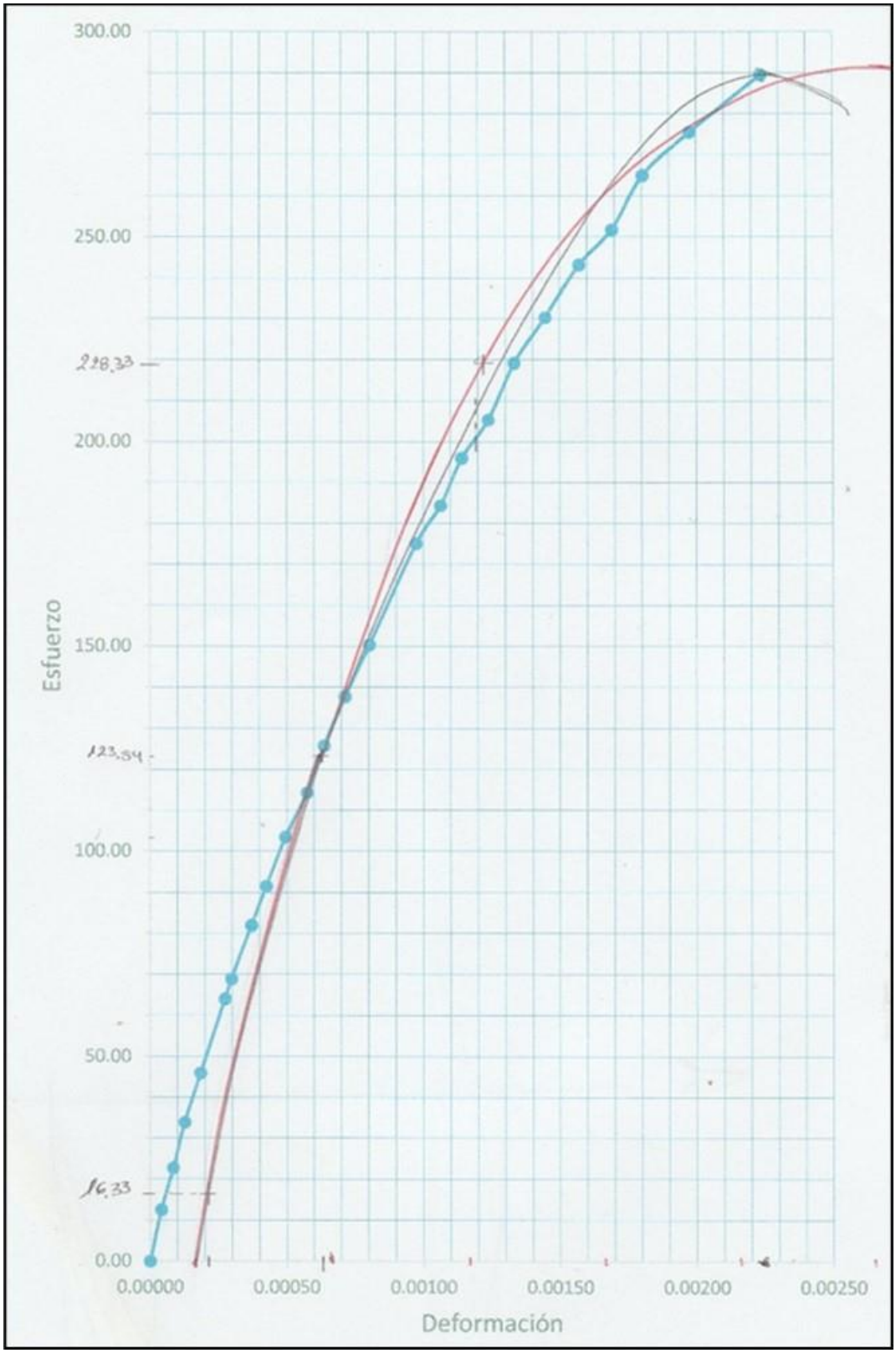
Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 179.06 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,017	21878	8,37438E-05	0,008283918	4,08075E-05	12,52664107
0,035	39723	0,000172414	0,017055126	8,40154E-05	22,7441157
0,053	59105	0,000261084	0,025826333	0,000127223	33,84162724
0,077	80157	0,00037931	0,037521276	0,000184834	45,8953272
0,114	111770	0,000561576	0,05555098	0,00027365	63,99591703
0,124	120128	0,000610837	0,060423873	0,000297655	68,78143975
0,154	143074	0,000758621	0,075042552	0,000369668	81,91958337
0,177	159878	0,000871921	0,086250206	0,000424878	91,54101479
0,206	180573	0,001014778	0,100381596	0,000494491	103,390308
0,239	199598	0,00117734	0,116462143	0,000573705	114,2834128
0,265	219643	0,001305419	0,129131665	0,000636117	125,7605369
0,297	240546	0,001463054	0,144724922	0,000712931	137,7289242
0,334	262552	0,00164532	0,162754627	0,000801747	150,328854
0,405	305680	0,001995074	0,197352167	0,000972178	175,0225635
0,443	321992	0,002182266	0,21586916	0,001063395	184,3622915
0,475	342133	0,002339901	0,231462418	0,001140209	195,894382
0,515	358437	0,002536946	0,25095399	0,001236227	205,2295295
0,555	382490	0,00273399	0,270445562	0,001332244	219,0015058
0,602	402098	0,002965517	0,293348159	0,001445065	230,2284177
0,654	424533	0,003221675	0,318687203	0,001569888	243,0739791
0,704	439668	0,00346798	0,343051668	0,00168991	251,7397947
0,751	462655	0,003699507	0,365954265	0,00180273	264,9014136
0,823	481062	0,004054187	0,401039095	0,001975562	275,4406714
0,931	505523	0,004586207	0,453666339	0,00223481	289,4462554
0,995	520953	0,004901478	0,484852855	0,002388438	298,2809785
1,116	544000	0,005497537	0,54381486	0,002678891	311,4769515

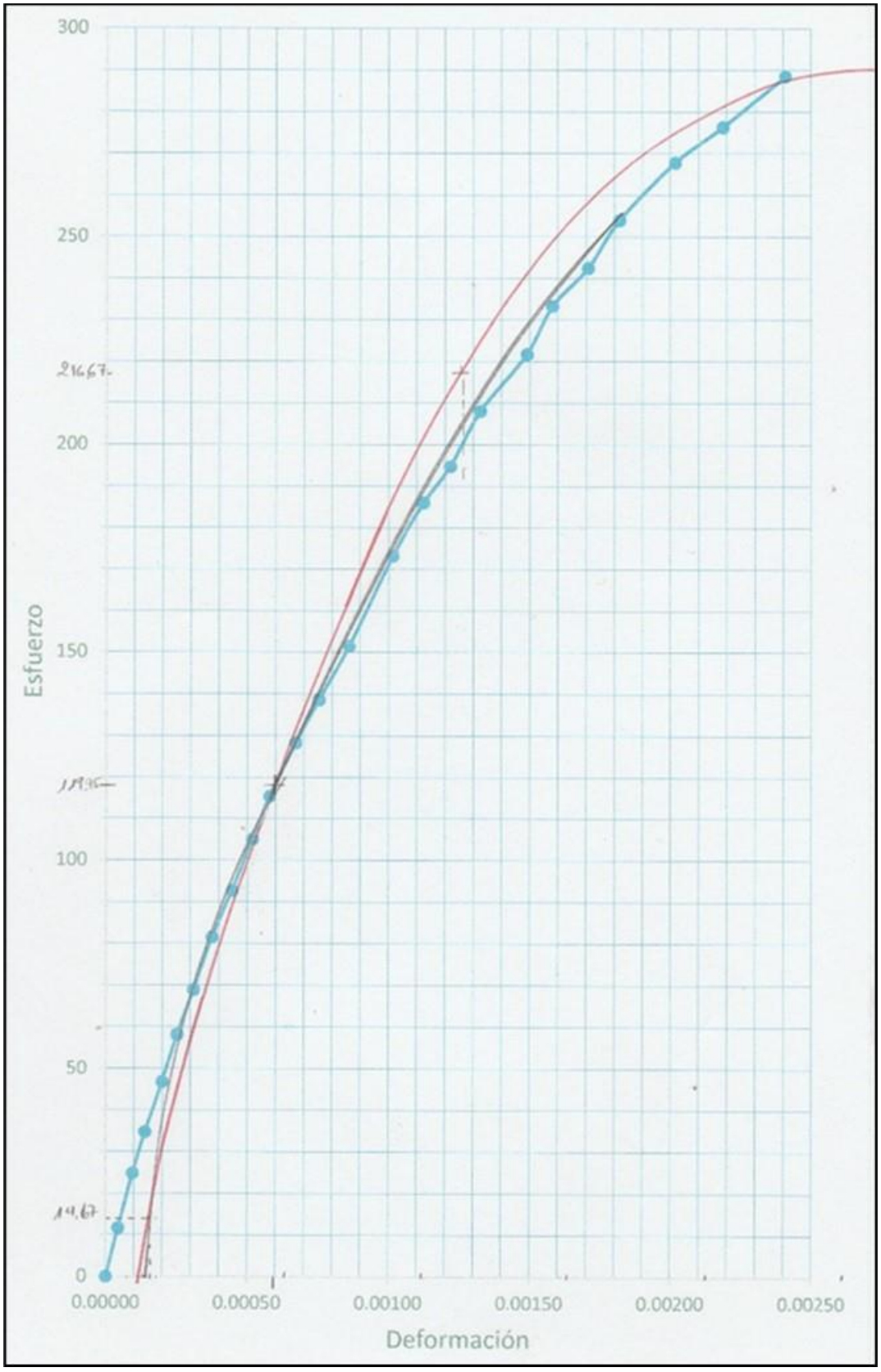
Módulo de Elasticidad – f'c = 311.48 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,018	20363	8,867E-05	0,008847567	0,00004358	11,69180192
0,039	43246	0,000192118	0,019169729	0,00009443	24,83050953
0,057	60458	0,000280788	0,028017296	0,000138016	34,71310515
0,082	81490	0,000403941	0,040305583	0,00019855	46,78902608
0,104	101256	0,000512315	0,051119276	0,000251819	58,13804915
0,128	120062	0,000630542	0,062916032	0,000309931	68,93587004
0,155	141984	0,000763547	0,076187383	0,000375307	81,52280132
0,184	161606	0,000906404	0,090441797	0,000445526	92,78914406
0,214	182927	0,001054187	0,105187742	0,000518166	105,0309998
0,239	201009	0,00117734	0,117476029	0,0005787	115,4131224
0,277	223284	0,001364532	0,136154226	0,00067071	128,2027353
0,311	241413	0,00153202	0,152866297	0,000753036	138,6118438
0,355	263781	0,001748768	0,174493683	0,000859575	151,4548545
0,419	301642	0,002064039	0,2059517	0,00101454	173,1934643
0,464	323795	0,002285714	0,228070617	0,001123501	185,9130286
0,503	339142	0,002477833	0,247240346	0,001217933	194,7247992
0,547	362223	0,002694581	0,268867732	0,001324472	207,9771922
0,615	386001	0,003029557	0,302291874	0,001489123	221,629781
0,653	406194	0,003216749	0,320970071	0,001581133	233,2239742
0,705	422187	0,003472906	0,346529709	0,001707043	242,4066579
0,751	442319	0,003699507	0,369140159	0,001818424	253,9658268
0,833	466252	0,004103448	0,409445742	0,002016974	267,7074118
0,903	481158	0,004448276	0,443852947	0,002186468	276,2659739
0,995	502428	0,004901478	0,489073845	0,002409231	288,478547
1,132	519337	0,005576355	0,556413661	0,002740954	298,1871695
1,204	522610	0,005931034	0,591803929	0,00291529	300,0664244

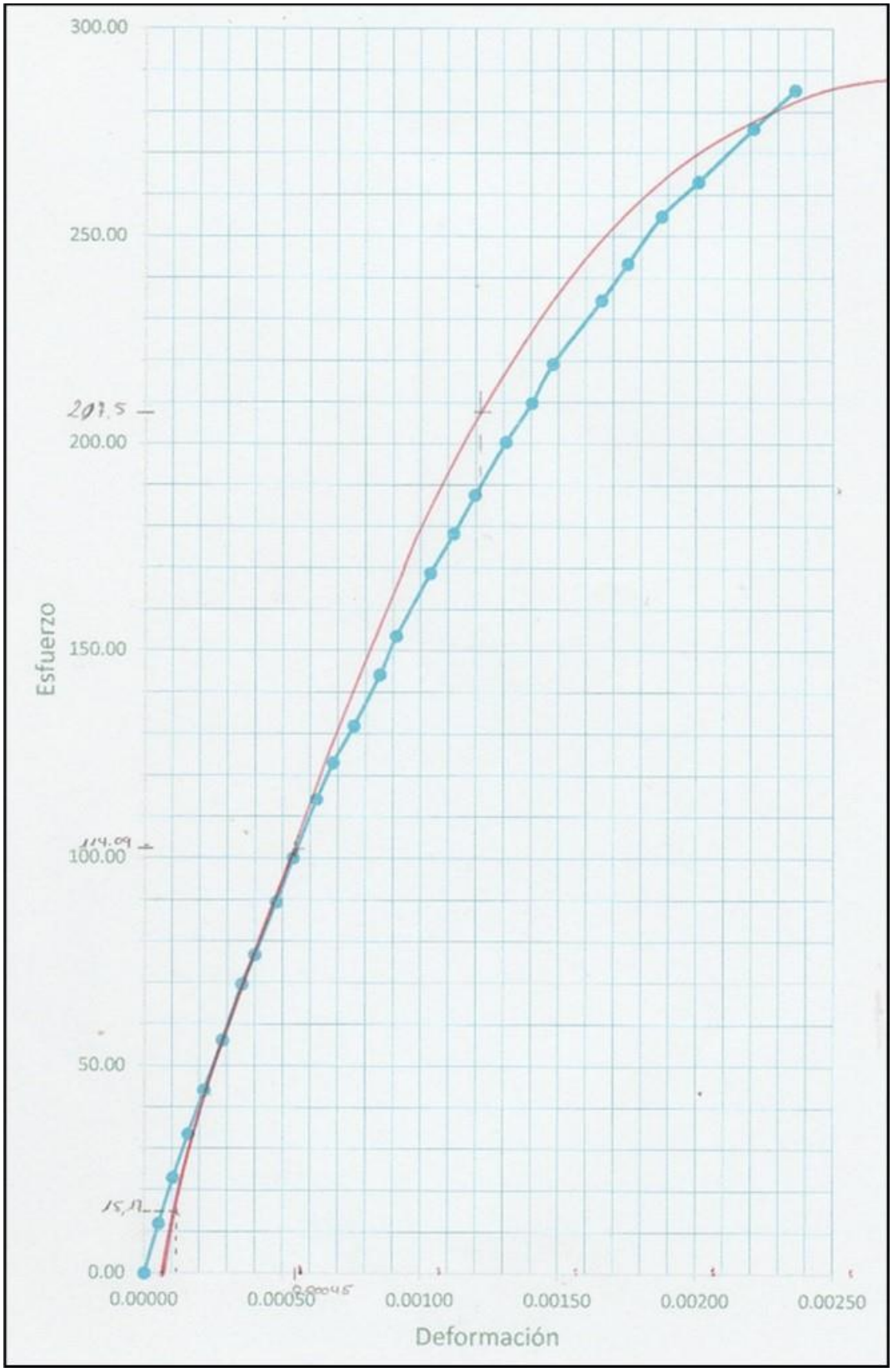
Módulo de Elasticidad – f'c = 300.07 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,021	21760	0,000103448	0,010590927	0,00005217	11,92039243
0,042	41882	0,000206897	0,021181854	0,000104344	22,94346855
0,064	61074	0,000315271	0,032277111	0,000159001	33,45707937
0,087	80432	0,000428571	0,043876698	0,000216141	44,06162701
0,114	102517	0,000561576	0,057493605	0,00028322	56,16005838
0,142	127022	0,000699507	0,071614841	0,000352782	69,58419517
0,161	140068	0,000793103	0,081197108	0,000399986	76,7309525
0,192	163174	0,000945813	0,096831334	0,000477002	89,38870009
0,217	182551	0,001068966	0,109439581	0,000539111	100,0036562
0,251	208382	0,001236453	0,126586796	0,00062358	114,1541919
0,275	224652	0,00135468	0,138690713	0,000683205	123,0670956
0,305	240908	0,001502463	0,153820609	0,000757737	131,9723299
0,343	263205	0,001689655	0,172985143	0,000852144	144,1868975
0,367	280118	0,001807882	0,18508906	0,000911769	153,4520444
0,417	308042	0,002054187	0,210305553	0,001035988	168,7491509
0,451	325285	0,002221675	0,227452769	0,001120457	178,1950759
0,482	342324	0,002374384	0,243086995	0,001197473	187,5292471
0,527	365632	0,002596059	0,265781838	0,00130927	200,2976528
0,565	382948	0,002783251	0,284946373	0,001403677	209,783568
0,596	400056	0,002935961	0,300580599	0,001480693	219,1555383
0,667	427929	0,003285714	0,336388019	0,001657084	234,4247064
0,705	444054	0,003472906	0,355552554	0,00175149	243,2581773
0,755	465124	0,003719212	0,380769047	0,00187571	254,8005794
0,809	480083	0,003985222	0,40800286	0,002009866	262,9953014
0,89	503572	0,004384236	0,448853579	0,002211101	275,862861
0,951	552220	0,004684729	0,479617701	0,002362649	302,5128266

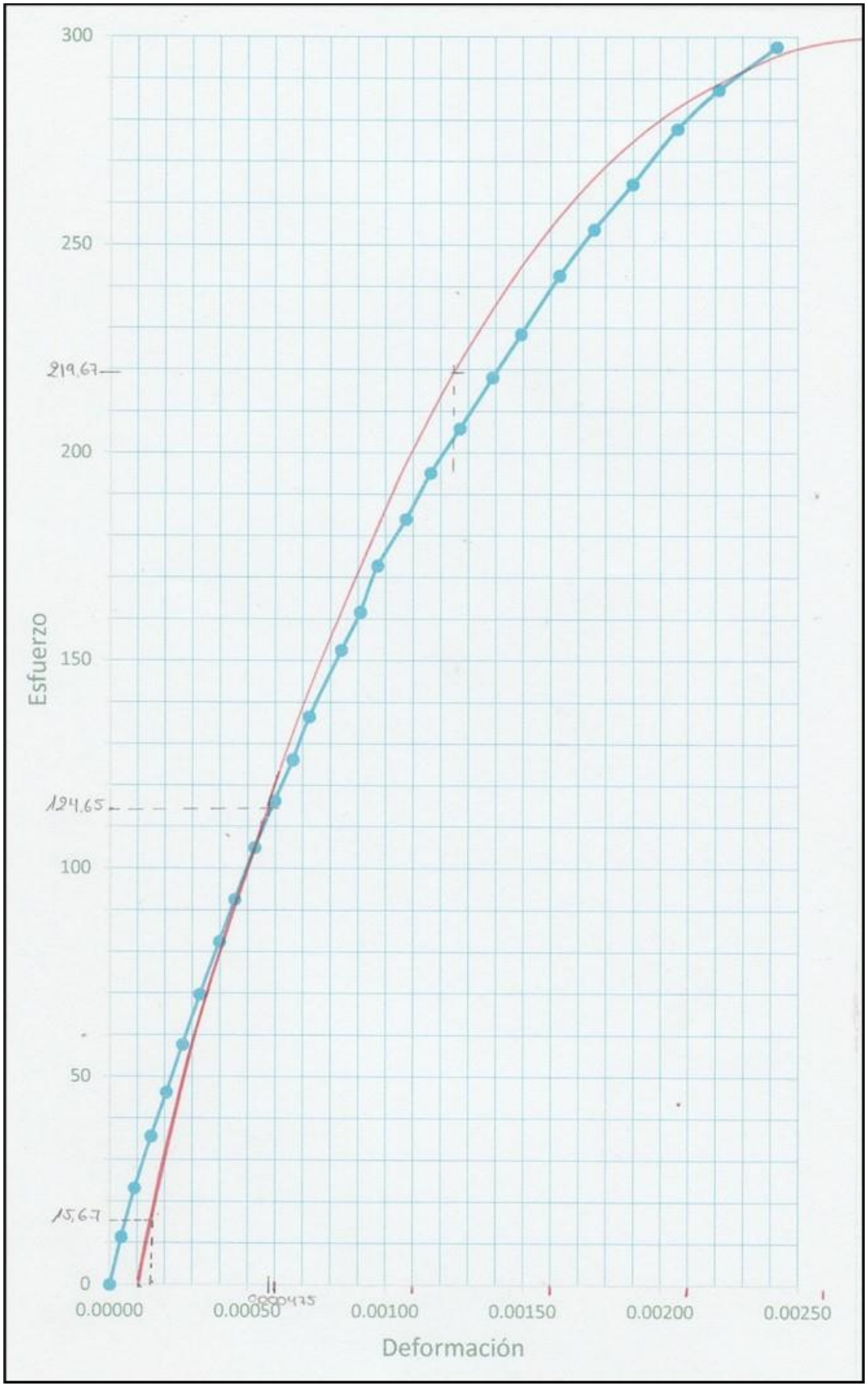
Módulo de Elasticidad – f'c = 302.51 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 0% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	0%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,017	20030	8,37438E-05	0,008344061	0,00004110	11,44194414
0,037	40507	0,000182266	0,018160604	0,00008946	23,13923271
0,062	62253	0,000305419	0,030431282	0,000149908	35,56142529
0,085	80877	0,000418719	0,041720306	0,000205519	46,2002055
0,109	100973	0,000536946	0,053500157	0,000263548	57,6798515
0,135	122017	0,000665025	0,066261662	0,000326412	69,70103336
0,164	144169	0,000807882	0,080495649	0,00039653	82,35514951
0,187	162092	0,000921182	0,091784673	0,000452141	92,59349024
0,217	183672	0,001068966	0,106509486	0,000524677	104,9208569
0,247	203416	0,001216749	0,1212343	0,000597213	116,1994263
0,274	220846	0,001349754	0,134486633	0,000662496	126,1561456
0,299	238953	0,001472906	0,146757311	0,000722942	136,4995945
0,347	266799	0,00170936	0,170317013	0,000839	152,4063532
0,375	282962	0,001847291	0,184060172	0,0009067	161,6393109
0,401	302416	0,001975369	0,196821678	0,000969565	172,7522206
0,444	322031	0,002187192	0,217927244	0,001073533	183,9571
0,481	341478	0,002369458	0,236087848	0,001162994	195,066011
0,525	360268	0,002586207	0,257684241	0,00126938	205,7996171
0,574	381658	0,002827586	0,281734771	0,001387856	218,0184482
0,617	399821	0,003039409	0,302840337	0,001491824	228,3938866
0,675	424566	0,003325123	0,33130831	0,001632061	242,5292289
0,727	444052	0,003581281	0,356831321	0,00175779	253,6604183
0,785	463116	0,003866995	0,385299294	0,001898026	264,5505443
0,853	486326	0,00420197	0,418675539	0,002062441	277,8090327
0,915	502687	0,004507389	0,449106821	0,002212349	287,155096
1,003	520786	0,004940887	0,492299608	0,002425121	297,4939751
1,155	545250	0,005689655	0,566905331	0,002792637	311,4687989

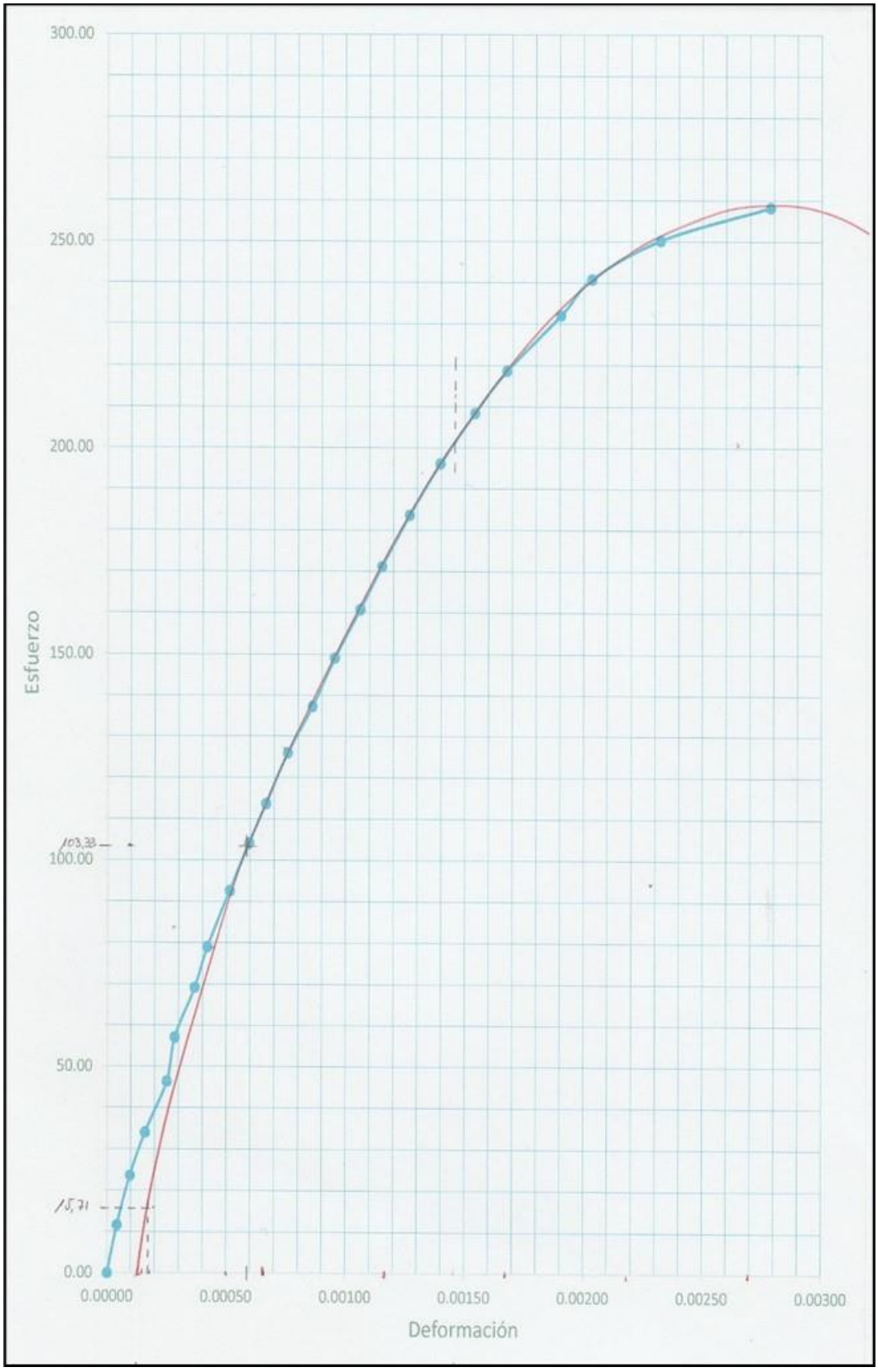
Módulo de Elasticidad – f'c = 311.47 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,016	20355	7,88177E-05	0,008221953	0,0000405	11,57302872
0,038	41444	0,000187192	0,019527137	0,0000962	23,56338011
0,063	59952	0,000310345	0,032373938	0,000159478	34,08627942
0,099	81606	0,000487685	0,050873331	0,000250608	46,39786694
0,112	100372	0,000551724	0,057553668	0,000283516	57,0674546
0,145	121715	0,000714286	0,074511445	0,000367051	69,20222011
0,166	139118	0,000817734	0,085302758	0,000420211	79,09686117
0,203	162755	0,001	0,104316023	0,000513872	92,53590218
0,235	183297	0,001157635	0,120759928	0,000594876	104,2152515
0,263	200062	0,001295567	0,135148345	0,000665755	113,7471516
0,299	221561	0,001472906	0,153647738	0,000756885	125,9706124
0,34	241467	0,001674877	0,174716492	0,000860672	137,2883579
0,377	262187	0,001857143	0,193729757	0,000954334	149,0689108
0,419	282778	0,002064039	0,215312382	0,001060652	160,7761196
0,455	301106	0,002241379	0,233811776	0,001151782	171,1966782
0,501	323074	0,00246798	0,257449889	0,001268226	183,6867934
0,552	345005	0,002719212	0,283657363	0,001397327	196,1558719
0,609	366445	0,003	0,312948069	0,001541616	208,3457877
0,662	384423	0,003261084	0,340183287	0,00167578	218,5673505
0,752	408009	0,003704433	0,38643177	0,001903605	231,9773949
0,803	423443	0,003955665	0,412639243	0,002032706	240,7525423
0,917	440005	0,004517241	0,471220655	0,002321284	250,1690248
1,1	477600	0,005418719	0,565259238	0,002784528	271,5440194

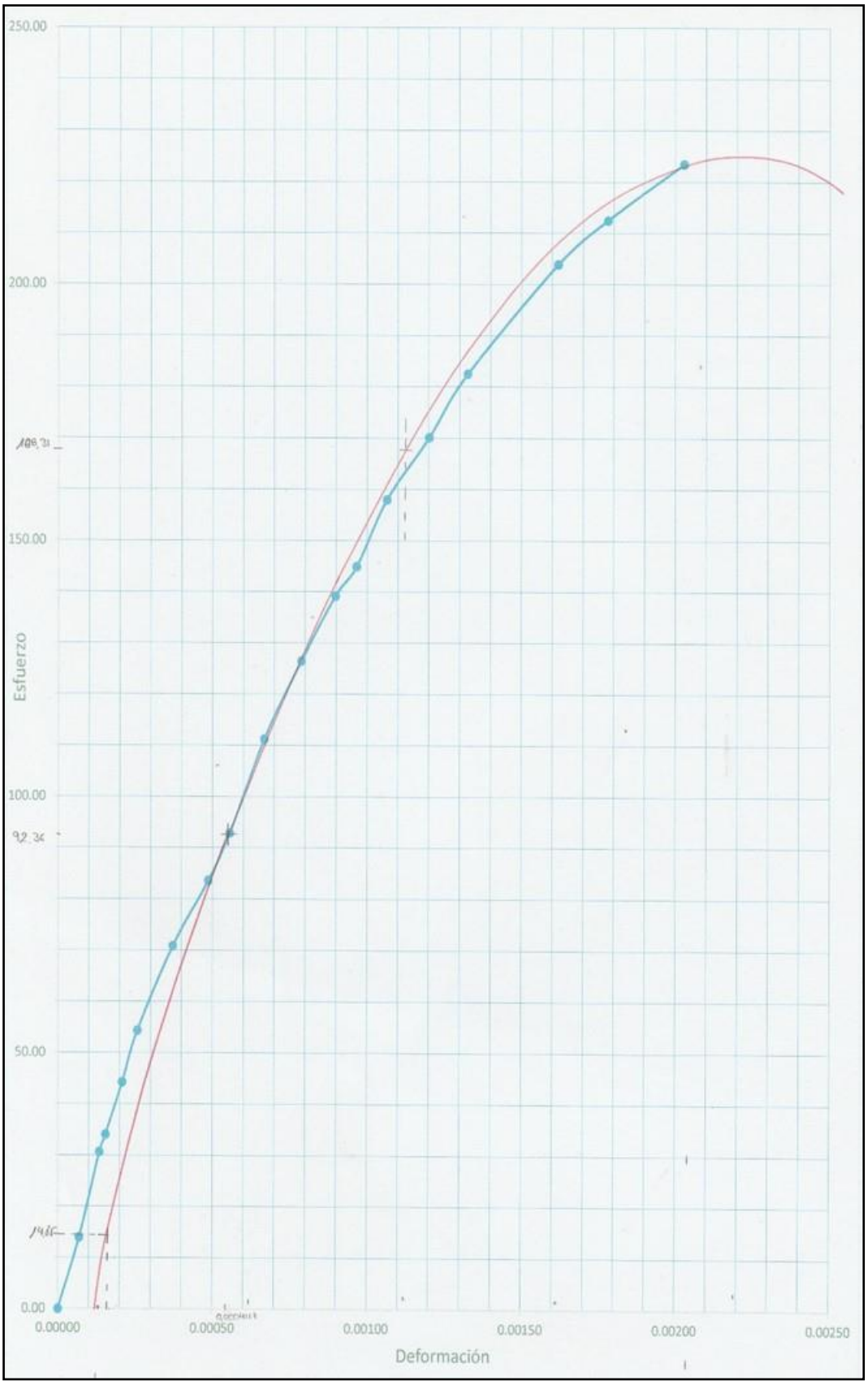
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 271.54 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,028	25118	0,000137931	0,013905781	6,85014E-05	13,96327659
0,055	55155	0,000270936	0,027314927	0,000134556	30,6610606
0,063	61166	0,000310345	0,031288008	0,000154128	34,00261867
0,085	79578	0,000418719	0,042213979	0,000207951	44,2379817
0,105	97765	0,000517241	0,05214668	0,00025688	54,34826561
0,152	127439	0,000748768	0,075488527	0,000371865	70,84425532
0,199	150346	0,000980296	0,098830374	0,000486849	83,57842113
0,227	167008	0,001118227	0,112736155	0,000555351	92,84094659
0,273	199969	0,001344828	0,135581367	0,000667889	111,1642032
0,322	227495	0,001586207	0,159916484	0,000787766	126,4661043
0,367	250278	0,001807882	0,182265061	0,000897857	139,1313376
0,395	260629	0,001945813	0,196170842	0,000966359	144,8855328
0,435	284051	0,002142857	0,216036244	0,001064218	157,9059908
0,491	305895	0,002418719	0,243847807	0,001201221	170,0492273
0,542	328222	0,002669951	0,269176194	0,001325991	182,460967
0,662	366584	0,003261084	0,328772399	0,001619568	203,7866783
0,728	382119	0,003586207	0,361550312	0,001781036	212,4226963
0,829	401936	0,004083744	0,411710452	0,00202813	223,439109
0,912	478600	0,004492611	0,45293116	0,002231188	266,0571771

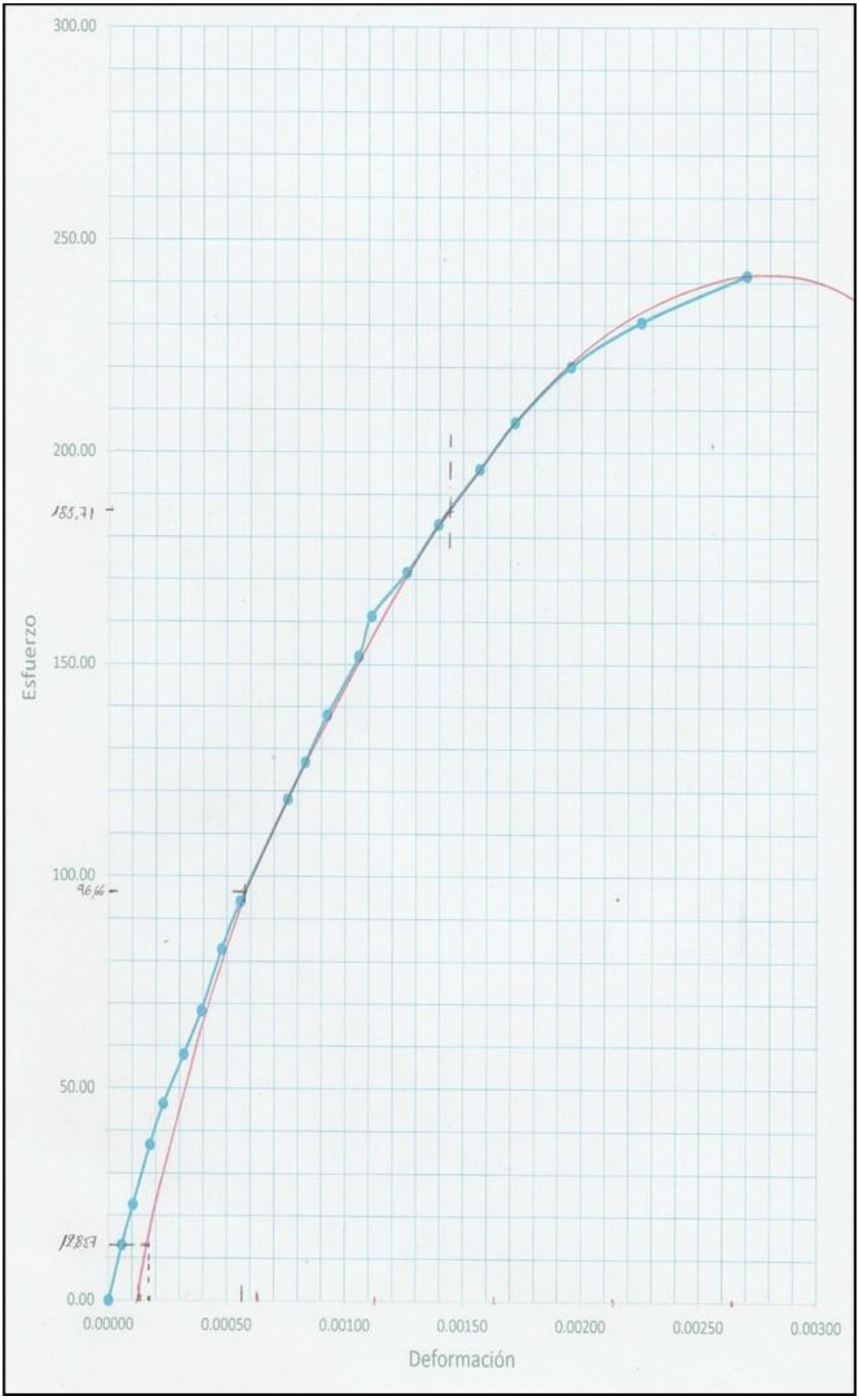
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 266.06 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,023	22813	0,0001133	0,011500897	0,0000567	13,06287959
0,042	39443	0,000206897	0,021001638	0,000103456	22,58533115
0,071	64067	0,000349754	0,03550277	0,00017489	36,68520171
0,094	81047	0,000463054	0,047003667	0,000231545	46,40806566
0,129	101327	0,000635468	0,064505032	0,000317759	58,02053215
0,159	119422	0,000783251	0,079506203	0,000391656	68,38185272
0,194	144535	0,000955665	0,097007568	0,00047787	82,76172802
0,226	164262	0,0011133	0,113008816	0,000556694	94,05754293
0,307	206329	0,001512315	0,153511976	0,000756217	118,1453944
0,337	221461	0,001660099	0,168513147	0,000830114	126,8100809
0,375	240946	0,001847291	0,187514629	0,000923717	137,967325
0,429	265292	0,0021133	0,214516736	0,001056733	151,9080109
0,451	281705	0,002221675	0,225517594	0,001110924	161,3062067
0,512	299727	0,002522167	0,256019973	0,001261182	171,625727
0,566	319580	0,002788177	0,28302208	0,001394197	182,9936904
0,637	342136	0,003137931	0,31852485	0,001569088	195,90941
0,698	361390	0,003438424	0,349027229	0,001719346	206,9343819
0,794	384564	0,00391133	0,397030974	0,001955818	220,2039726
0,915	402580	0,004507389	0,457535695	0,00225387	230,5200572
1,096	460400	0,005399015	0,548042756	0,002699718	263,628184

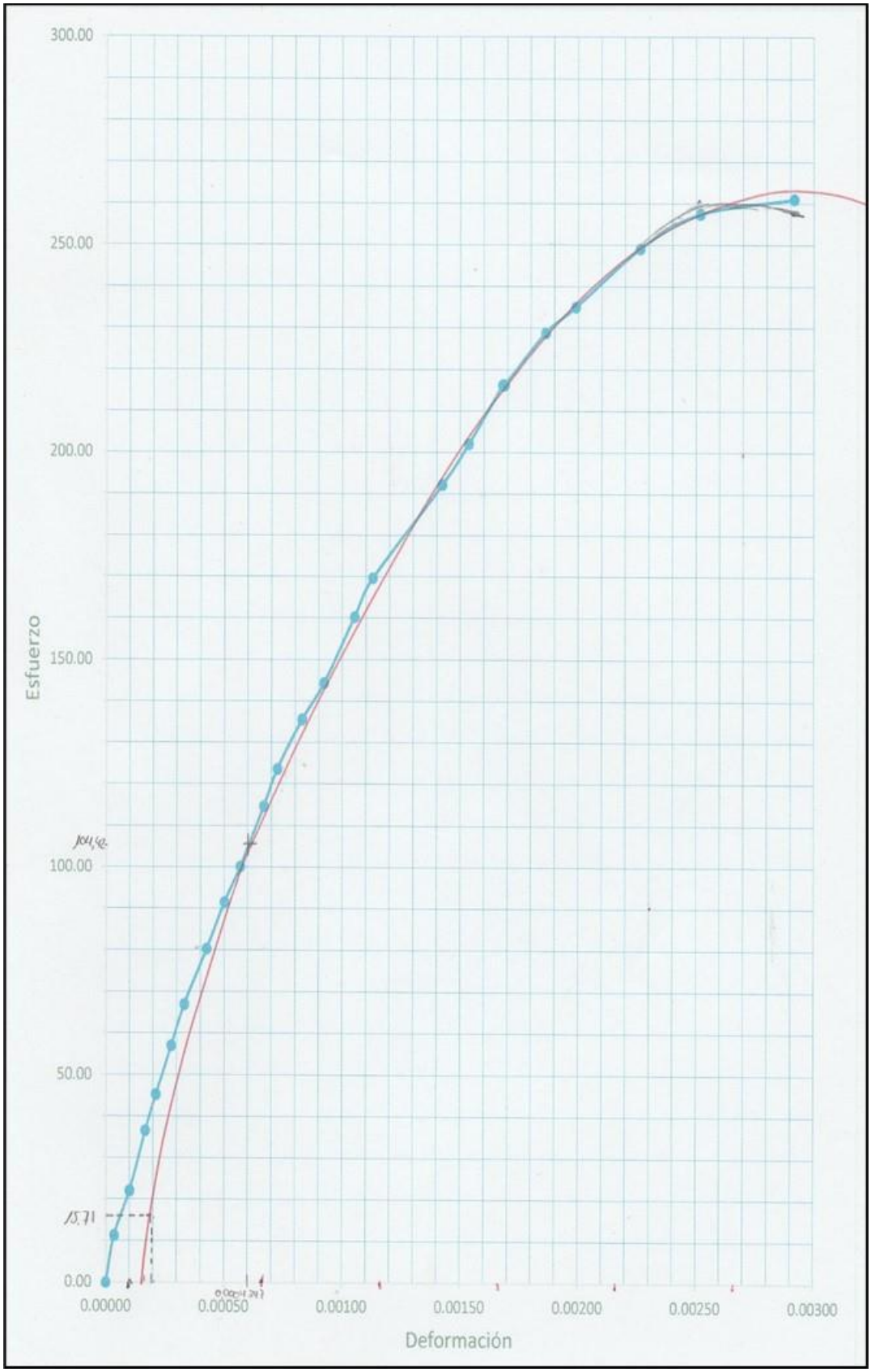
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 263.63 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 10% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	10%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,014	20158	6,89655E-05	0,007082947	0,0000349	11,26264832
0,04	39483	0,000197044	0,020236991	0,0000997	22,05988409
0,067	65389	0,000330049	0,03389696	0,00016698	36,53404658
0,085	80879	0,000418719	0,043003606	0,00021184	45,18859675
0,111	101860	0,000546798	0,056157651	0,000276639	56,91107043
0,133	119840	0,000655172	0,067287996	0,000331468	66,95682977
0,171	143744	0,000842365	0,086513138	0,000426173	80,31243774
0,201	163720	0,000990148	0,101690881	0,00050094	91,47339928
0,228	179132	0,001123153	0,11535085	0,000568231	100,0843694
0,268	205267	0,001320197	0,135587841	0,00066792	114,6864784
0,291	221193	0,001433498	0,147224111	0,000725242	123,5846299
0,333	242731	0,001640394	0,168472952	0,000829916	135,6183098
0,37	258351	0,00182266	0,187192169	0,000922129	144,3454934
0,422	286779	0,002078818	0,213500258	0,001051725	160,228744
0,453	303539	0,002231527	0,229183926	0,001128985	169,5928668
0,571	343843	0,002812808	0,28888305	0,001423069	192,1114588
0,616	361487	0,003034483	0,311649665	0,00153522	201,9694887
0,674	386949	0,003320197	0,340993302	0,00167977	216,1955801
0,677	386946	0,003334975	0,342511077	0,001687247	216,193904
0,747	409383	0,003679803	0,377925811	0,001861704	228,7298718
0,798	420503	0,003931034	0,403727975	0,001988808	234,942822
0,908	445729	0,004472906	0,459379701	0,002262954	249,0370559
1,01	460698	0,004975369	0,510984029	0,002517163	257,4005137
1,17	470100	0,005763547	0,591931994	0,002915921	262,6535854

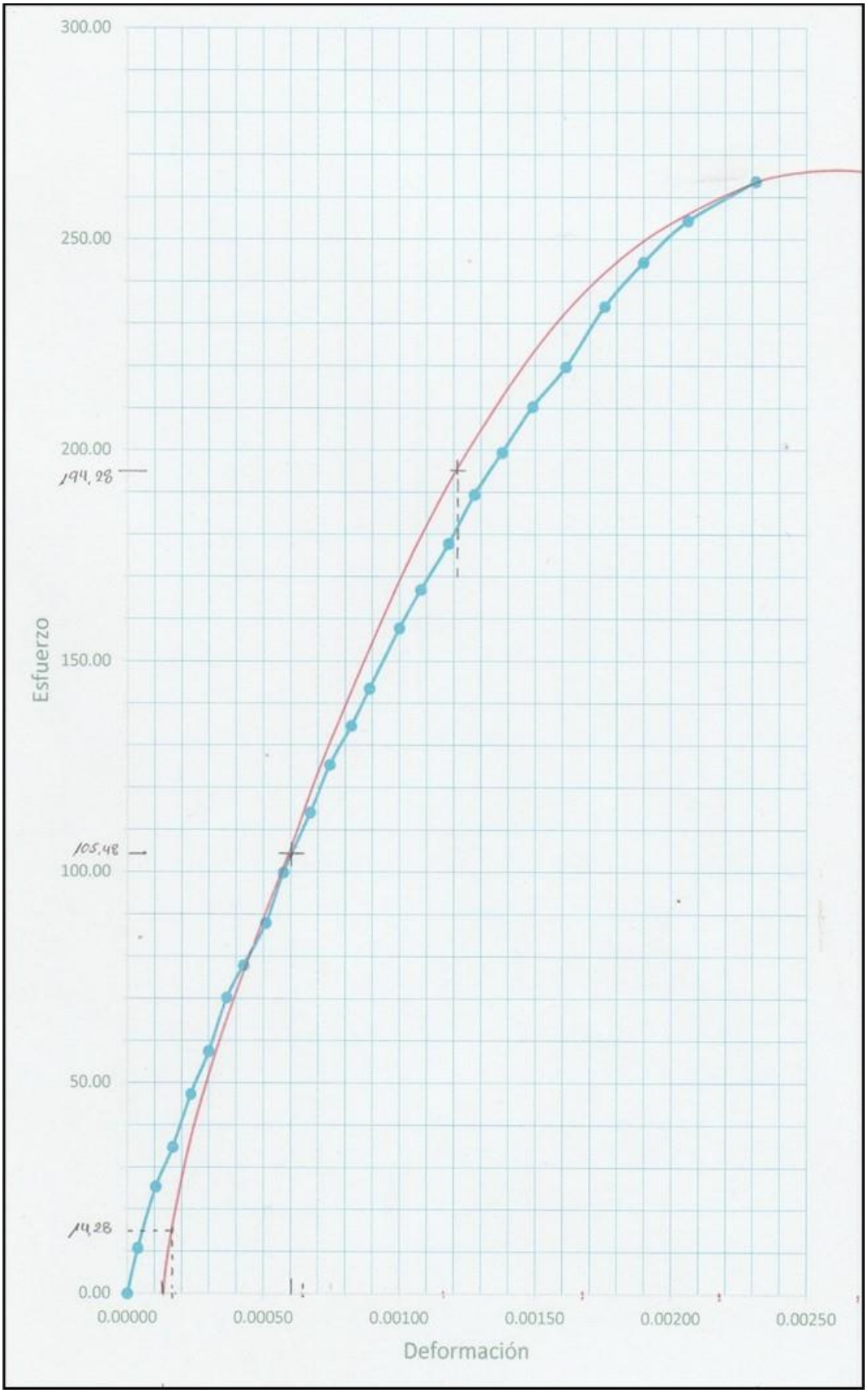
Módulo de Elasticidad 10% de arcilla – f'c = 262.65 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,015	19507	7,38916E-05	0,007781914	0,0000383	10,77979641
0,041	45927	0,00020197	0,021270565	0,000104781	25,37979749
0,065	62853	0,000320197	0,033721627	0,000166116	34,73330311
0,091	85553	0,000448276	0,047210278	0,000232563	47,27758867
0,117	103890	0,000576355	0,060698929	0,00029901	57,41082939
0,143	127043	0,000704433	0,07418758	0,000365456	70,20544806
0,167	140963	0,00082266	0,086638643	0,000426791	77,89780291
0,199	158950	0,000980296	0,10324006	0,000508572	87,83762953
0,224	180614	0,001103448	0,116209916	0,000572463	99,80940938
0,263	206495	0,001295567	0,136442893	0,000672132	114,1115528
0,291	226830	0,001433498	0,150969132	0,00074369	125,3489117
0,322	243557	0,001586207	0,167051755	0,000822915	134,5924475
0,348	259683	0,001714286	0,180540406	0,000889362	143,5038638
0,391	285451	0,001926108	0,202848559	0,000999254	157,7435621
0,422	301795	0,002078818	0,218931182	0,001078479	166,7754477
0,462	321718	0,002275862	0,239682952	0,001180704	177,7851305
0,499	342643	0,002458128	0,25887834	0,001275263	189,3485303
0,539	360769	0,002655172	0,279630111	0,001377488	199,36517
0,583	380442	0,002871921	0,302457059	0,001489936	210,2366999
0,631	397552	0,003108374	0,327359184	0,001612607	219,6918861
0,687	423333	0,003384236	0,356411663	0,001755722	233,9387683
0,743	442413	0,003660099	0,385464142	0,001898838	244,4825995
0,807	460111	0,003975369	0,418666975	0,002062399	254,2627214
0,905	454200	0,004458128	0,469508814	0,002312851	250,9962336

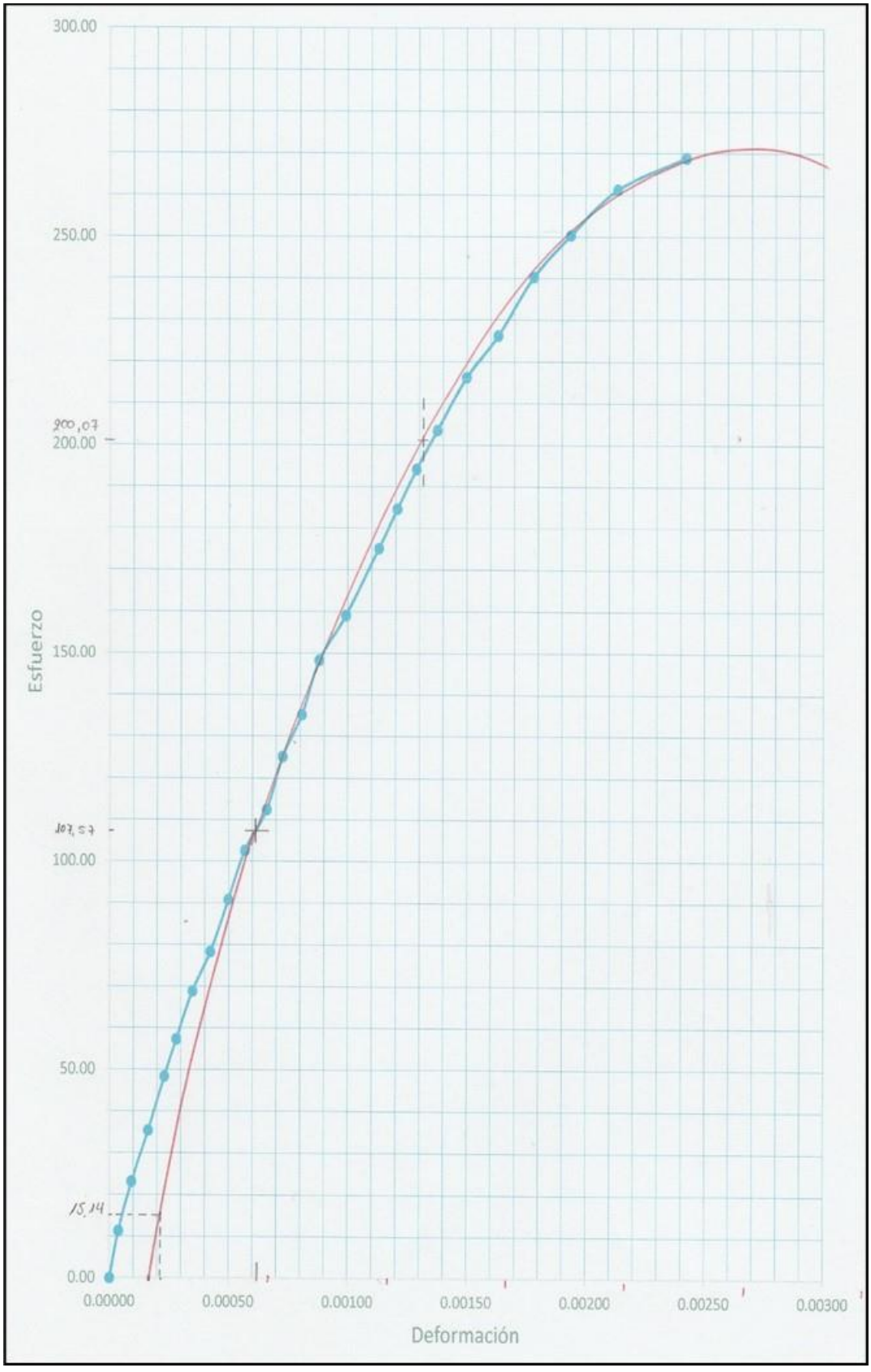
Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 251.00 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,015	20042	7,38916E-05	0,007628391	0,000038	11,31791675
0,037	40917	0,000182266	0,018816698	0,000093	23,10623689
0,065	62760	0,000320197	0,033056361	0,000162839	35,44119625
0,092	85680	0,000453202	0,046787465	0,00023048	48,38434823
0,112	101470	0,000551724	0,056958653	0,000280584	57,30111829
0,139	121991	0,000684729	0,070689757	0,000348225	68,88953111
0,169	138857	0,000832512	0,085946539	0,000423382	78,41392907
0,199	160810	0,000980296	0,10120332	0,000498539	90,81100653
0,227	181766	0,001118227	0,115442984	0,000568685	102,6450682
0,263	199091	0,001295567	0,133751122	0,000658873	112,428668
0,29	221602	0,001428571	0,147482226	0,000726513	125,1408536
0,322	239447	0,001586207	0,163756127	0,00080668	135,2181026
0,351	262653	0,001729064	0,178504349	0,000879332	148,3227616
0,396	281698	0,001950739	0,201389522	0,000992067	159,0776626
0,451	310127	0,002221675	0,229360289	0,001129854	175,1318016
0,482	326969	0,002374384	0,245125631	0,001207515	184,6426466
0,514	343829	0,00253202	0,261399531	0,001287682	194,1636563
0,549	360337	0,002704433	0,27919911	0,001375365	203,4858881
0,598	382893	0,002945813	0,304118521	0,001498121	216,2234856
0,651	400565	0,003206897	0,331072169	0,001630897	226,2030398
0,711	425476	0,003502463	0,361585733	0,001781211	240,2705293
0,773	443379	0,003807882	0,393116416	0,001936534	250,3805315
0,852	462716	0,004197044	0,433292608	0,002134446	261,3003277
0,967	443900	0,004763547	0,491776939	0,002422546	250,6747453

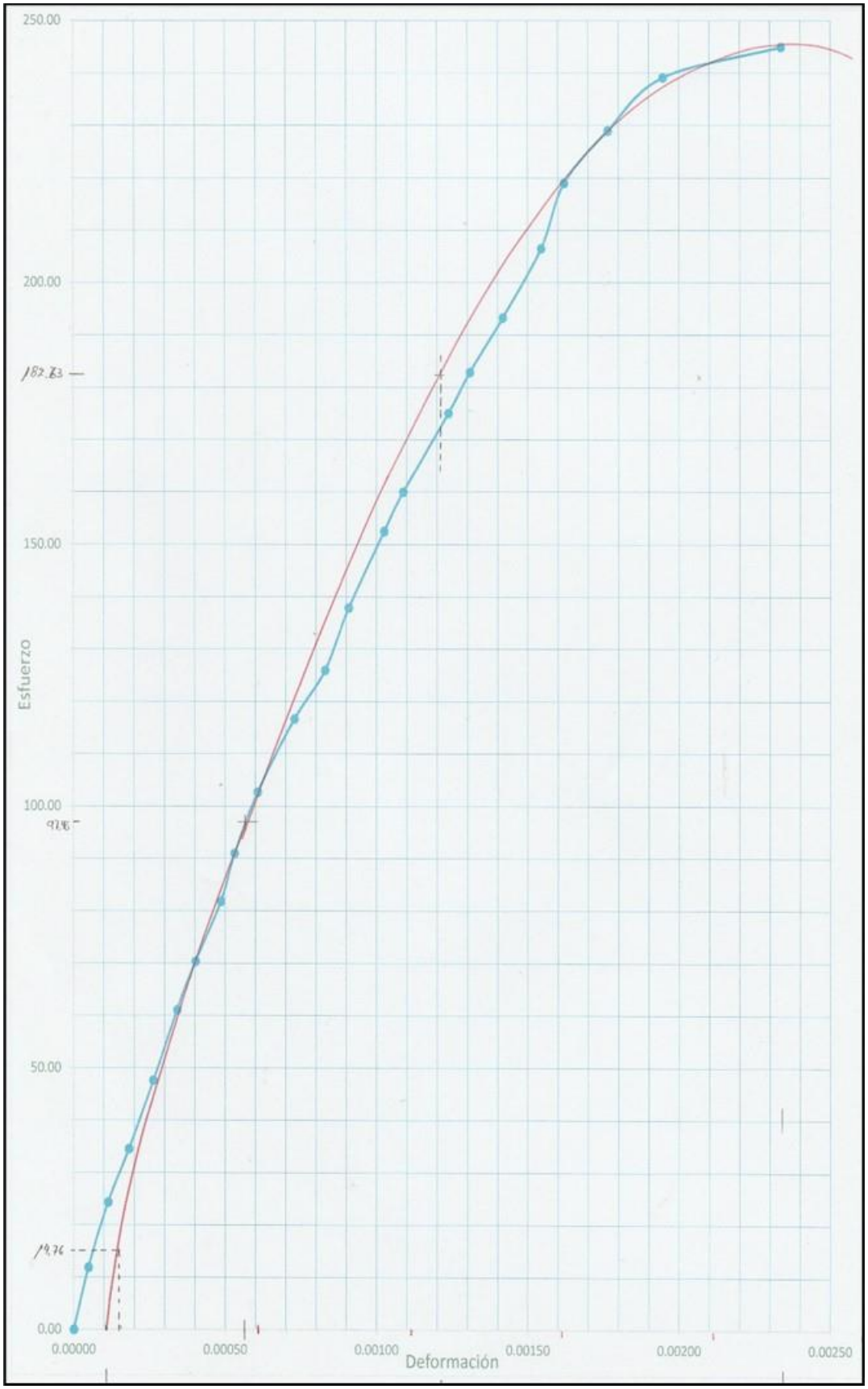
Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 250.61 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,019	20886	9,35961E-05	0,009762637	0,0000481	11,8820093
0,045	42863	0,000221675	0,023122034	0,000113902	24,38468661
0,072	60712	0,00035468	0,036995255	0,000182243	34,53895186
0,104	83728	0,000512315	0,053437591	0,000263239	47,63271447
0,135	107366	0,000665025	0,069366103	0,000341705	61,08033181
0,159	123718	0,000783251	0,081697855	0,000402452	70,38295635
0,192	143767	0,000945813	0,098654014	0,00048598	81,78879779
0,21	159914	0,001034483	0,107902827	0,000531541	90,97479818
0,24	180500	0,001182266	0,123317517	0,000607475	102,686138
0,288	204967	0,001418719	0,14798102	0,000728971	116,605372
0,328	221425	0,001615764	0,16853394	0,000830216	125,9682998
0,359	242275	0,001768473	0,184462452	0,000908682	137,8298287
0,405	267937	0,001995074	0,20809831	0,001025115	152,4288962
0,43	281129	0,002118227	0,220943885	0,001088394	159,9338022
0,489	307605	0,002408867	0,251259441	0,001237731	174,9959528
0,517	321325	0,002546798	0,265646484	0,001308603	182,8012371
0,56	339709	0,002758621	0,287740873	0,001417443	193,2598629
0,61	362845	0,003004926	0,313432022	0,001544	206,4218933
0,64	384906	0,003152709	0,328846712	0,001619935	218,9723581
0,697	402375	0,003433498	0,358134622	0,00176421	228,910442
0,769	420206	0,003788177	0,395129877	0,001946453	239,0544671
0,923	435600	0,004546798	0,474258617	0,002336249	247,8120871

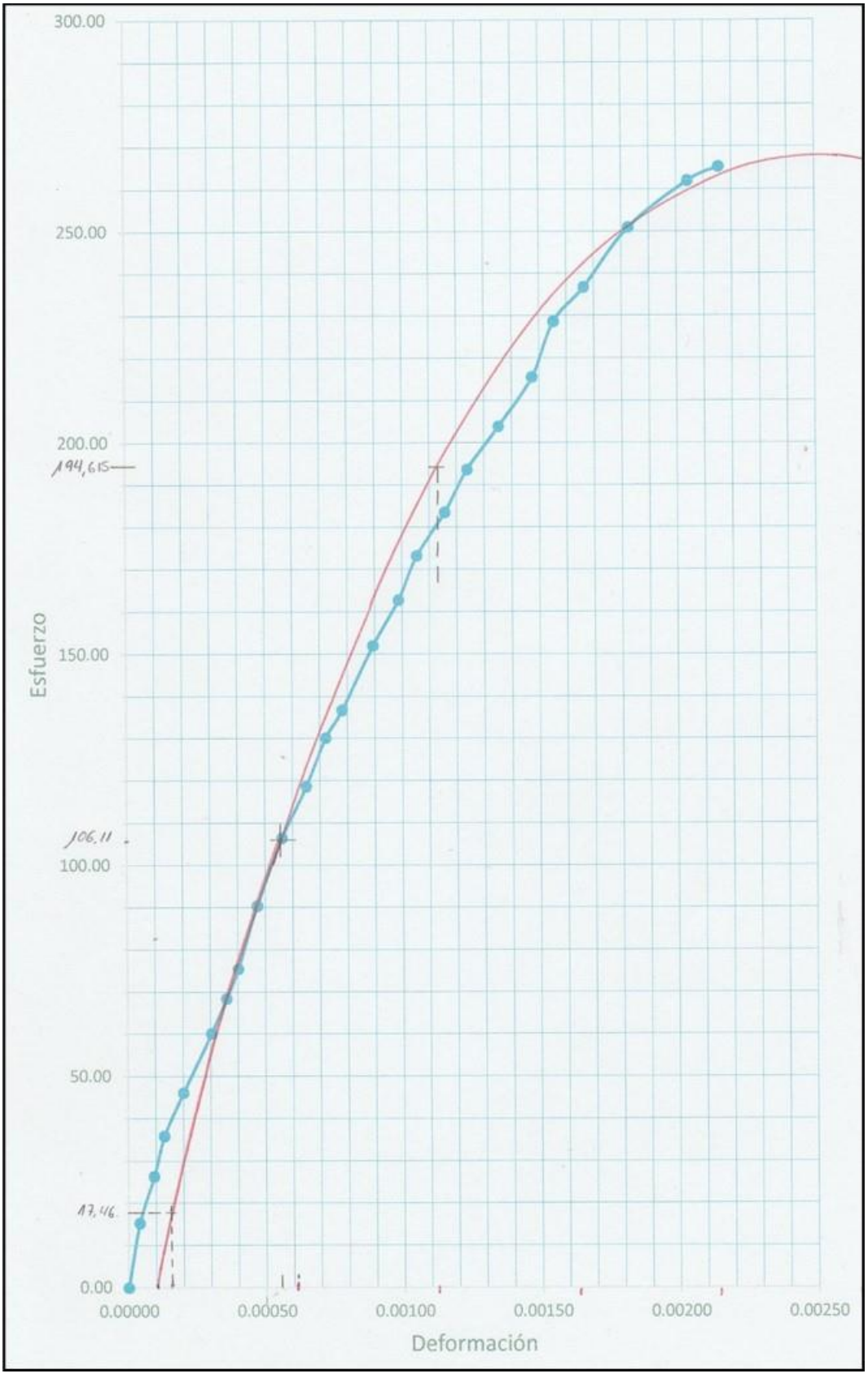
Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 247.81 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 20% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	20%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,017	27036	8,37438E-05	0,008247916	4,06301E-05	15,23332462
0,039	46715	0,000192118	0,01892169	9,32103E-05	26,32137742
0,055	63715	0,000270936	0,026684435	0,00013145	35,89995851
0,084	81866	0,000413793	0,04075441	0,000200761	46,1270659
0,127	106655	0,000625616	0,061616786	0,000303531	60,09432748
0,15	121325	0,000738916	0,072775732	0,000358501	68,36007952
0,168	133995	0,000827586	0,08150882	0,000401521	75,49893967
0,197	160318	0,000970443	0,095578794	0,000470831	90,33052734
0,235	188885	0,001157635	0,114015313	0,000561652	106,4264877
0,272	210500	0,001339901	0,13196666	0,000650082	118,6053718
0,302	230940	0,001487685	0,146521807	0,000721782	130,122207
0,327	242676	0,001610837	0,158651095	0,000781532	136,7348086
0,374	269686	0,001842365	0,181454158	0,000893863	151,9534837
0,413	288833	0,002034483	0,200375848	0,000987073	162,7417832
0,441	307432	0,002172414	0,213960651	0,001053993	173,2213144
0,484	325744	0,002384236	0,234823028	0,001156764	183,5391366
0,518	343619	0,002551724	0,25131886	0,001238024	193,6107329
0,566	361724	0,002788177	0,274607094	0,001352744	203,8119217
0,617	382465	0,003039409	0,299350843	0,001474635	215,4983541
0,65	405687	0,00320197	0,315361504	0,001553505	228,5826959
0,696	420250	0,003428571	0,337679395	0,001663445	236,7881592
0,764	445387	0,003763547	0,37067106	0,001825966	250,9515
0,854	464896	0,004206897	0,414336499	0,002041066	261,943767
0,901	457010	0,004438424	0,437139562	0,002153397	257,5004323

Módulo de Elasticidad 20% de arcilla – f'c = 257.43 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 30% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 5):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	5		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,025	19785	0,000123153	0,012262655	6,04072E-05	11,20071873
0,05	39091	0,000246305	0,02452531	0,000120814	22,13026514
0,085	64355	0,000418719	0,041693027	0,000205384	36,43276491
0,114	82153	0,000561576	0,055917707	0,000275457	46,50859973
0,149	105490	0,00073399	0,073085424	0,000360027	59,7201829
0,171	119757	0,000842365	0,083876561	0,000413185	67,79704183
0,207	139455	0,001019704	0,101534784	0,000500171	78,94850797
0,244	164236	0,00120197	0,119683514	0,000589574	92,97757094
0,283	184285	0,001394089	0,138813256	0,000683809	104,3277458
0,326	209720	0,001605911	0,159905022	0,000787709	118,7270524
0,371	222740	0,001827586	0,181977802	0,000896442	126,0979575
0,405	239714	0,001995074	0,198655012	0,000978596	135,707308
0,455	258203	0,002241379	0,223180323	0,00109941	146,174333
0,504	280518	0,002482759	0,247215127	0,001217809	158,8073397
0,557	300660	0,002743842	0,273211955	0,001345872	170,2101639
0,607	319524	0,002990148	0,297737266	0,001466686	180,8894845
0,67	343101	0,003300493	0,328639156	0,001618912	194,2369369
0,746	364587	0,003674877	0,365917628	0,00180255	206,4006287
0,759	370600	0,003738916	0,372294209	0,001833962	209,8047188

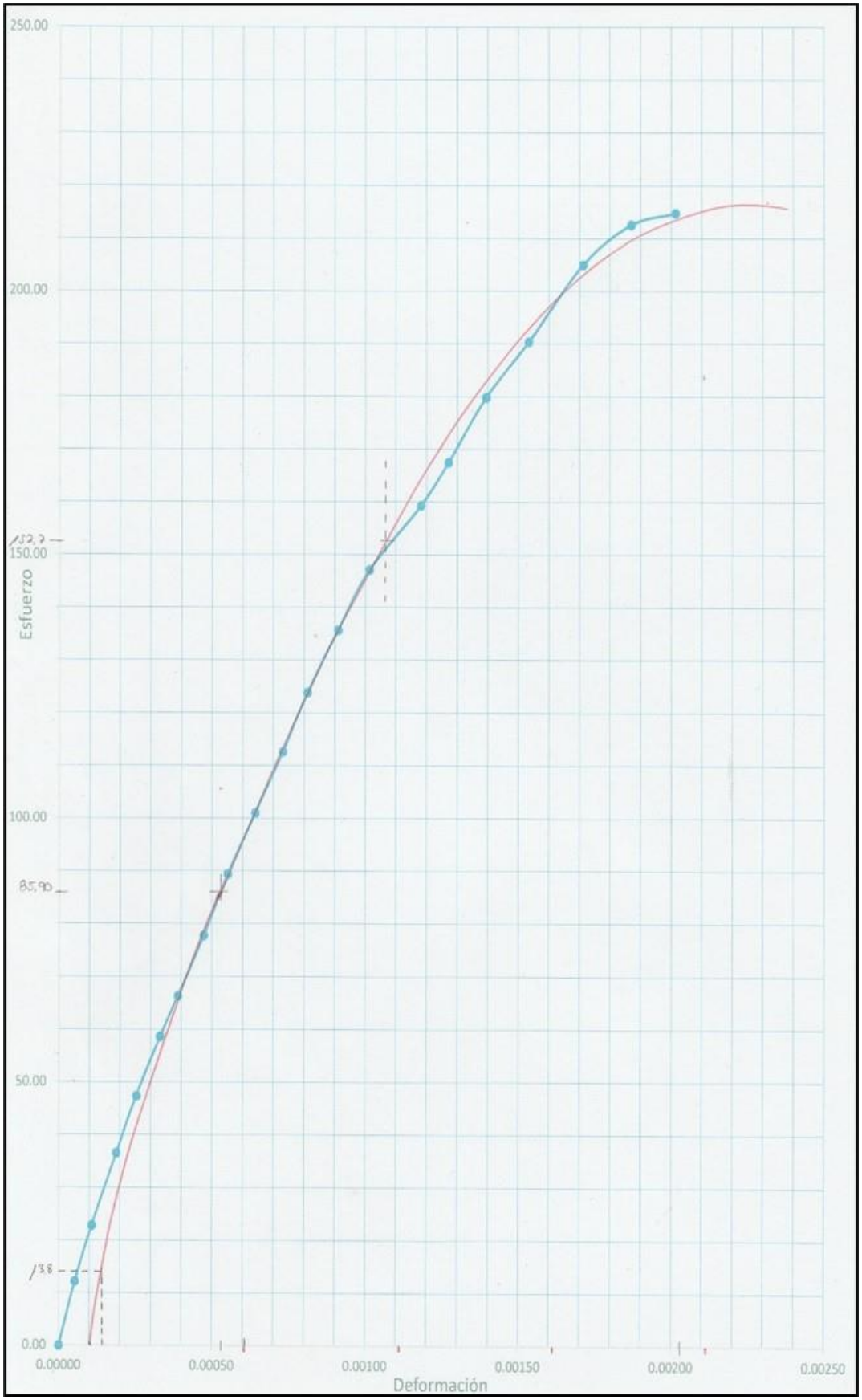
Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 209.80 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 30% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 6):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	6		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,021	21782	0,000103448	0,010667599	5,25498E-05	12,16123165
0,043	40848	0,000211823	0,02184318	0,000107602	22,80607798
0,075	65395	0,000369458	0,038098569	0,000187678	36,51105243
0,101	84790	0,000497537	0,051306073	0,000252739	47,33958461
0,132	104964	0,000650246	0,067053482	0,000330313	58,60304469
0,155	118636	0,000763547	0,078737043	0,000387867	66,23633636
0,189	139239	0,000931034	0,096008395	0,000472948	77,73931385
0,22	160031	0,001083744	0,111755803	0,000550521	89,347813
0,256	180983	0,001261084	0,130043117	0,000640606	101,0456427
0,292	201620	0,001438424	0,14833043	0,000730692	112,5676029
0,324	221762	0,001596059	0,16458582	0,000810768	123,8131969
0,364	242881	0,001793103	0,184905057	0,000910862	135,6042652
0,405	263462	0,001995074	0,205732274	0,001013459	147,0949598
0,472	285222	0,002325123	0,239766996	0,001181118	159,2439085
0,508	299862	0,002502463	0,25805431	0,001271203	167,4176497
0,557	321926	0,002743842	0,282945375	0,00139382	179,7363264
0,613	340886	0,003019704	0,311392307	0,001533952	190,3219913
0,684	367009	0,003369458	0,347458952	0,00171162	204,9068712
0,747	380592	0,003679803	0,379461751	0,00186927	212,4904728
0,805	384548	0,003965517	0,408924644	0,002014407	214,6991695

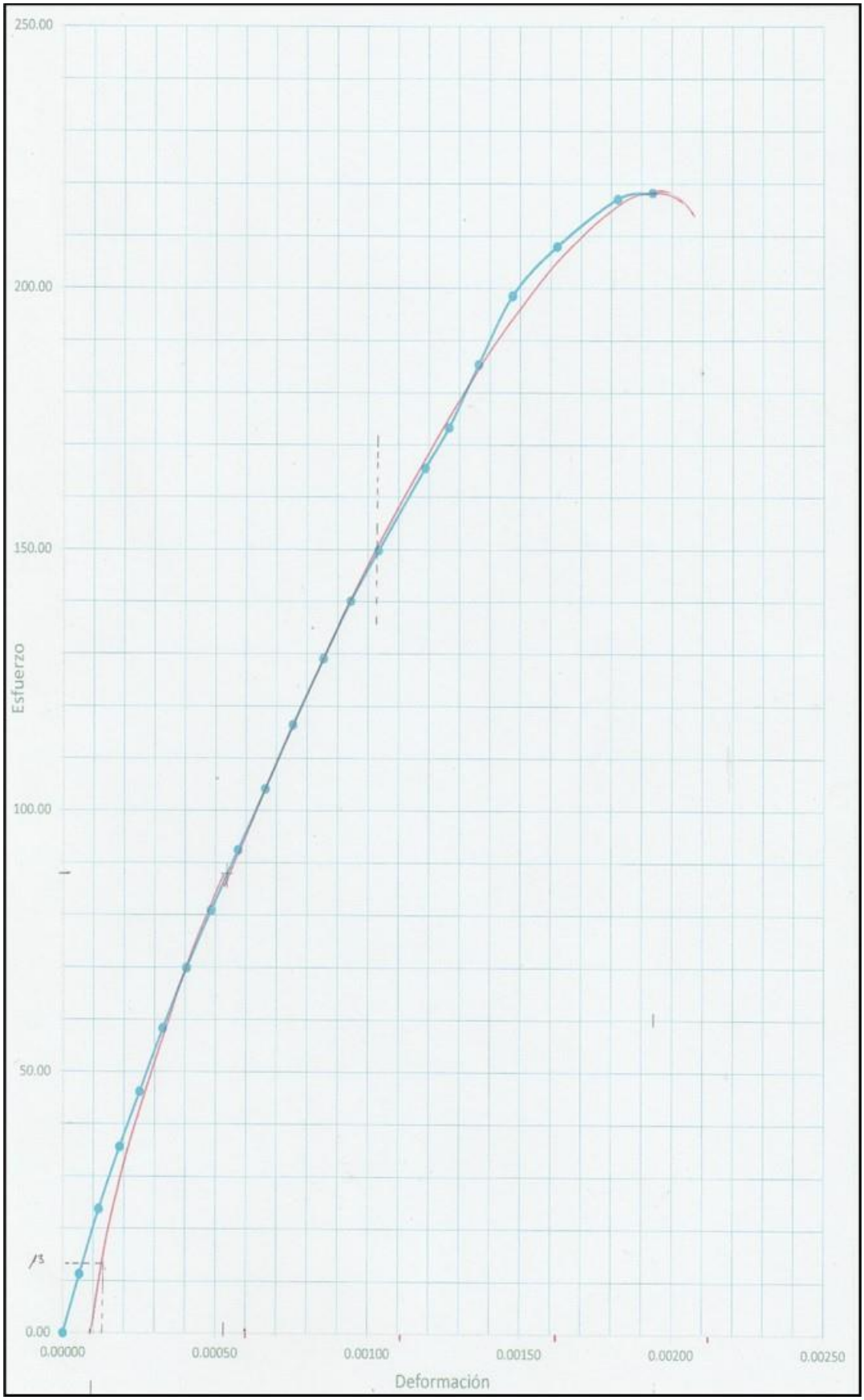
Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 214.67 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 30% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 7):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	7		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,022	19623	0,000108374	0,010887369	0,0000536	11,25718726
0,048	41423	0,000236453	0,02375426	0,000117016	23,76326087
0,076	62145	0,000374384	0,037610911	0,000185275	35,65091487
0,103	80610	0,000507389	0,050972682	0,000251097	46,24378868
0,134	101706	0,000660099	0,066313975	0,00032667	58,34599642
0,166	121872	0,000817734	0,082150148	0,000404681	69,91468817
0,199	141059	0,000980296	0,098481202	0,000485129	80,92175396
0,235	161120	0,001157635	0,116296896	0,000572891	92,43021004
0,272	181529	0,001339901	0,134607471	0,000663091	104,1383044
0,309	202908	0,001522167	0,152918047	0,000753291	116,4028616
0,35	224967	0,001724138	0,173208143	0,000853242	129,0575165
0,387	244198	0,001906404	0,191518719	0,000943442	140,0898239
0,424	261081	0,00208867	0,209829294	0,001033642	149,7751469
0,487	288564	0,002399015	0,241006759	0,001187225	165,5414047
0,519	302035	0,00255665	0,256842933	0,001265236	173,2693551
0,559	323065	0,002753695	0,276638149	0,00136275	185,3337004
0,605	346021	0,002980296	0,299402648	0,00147489	198,5029401
0,665	362398	0,003275862	0,329095472	0,00162116	207,8979845
0,747	378302	0,003679803	0,369675666	0,001821062	217,0216815
0,794	380361	0,00391133	0,392935045	0,001935641	218,2028744

Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 218.17 kg/cm2



Módulo de elasticidad para una Relación A/C = 0.445 con 30% de Arcilla Expandida - (Cilindro No. 8):

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL MÓDULO DE ELASTICIDAD					
f'c esperada	280 kg/cm2		**Autores**	Jorge Luis Alban Israel Utreras	
Cantera	Pifo				
% Arlita	30%		**Revisado por**	Ing. Lauro Lara	
Muestra	8		**Edad**	28 días	
Deformación (mm)	**Carga (N)**	**Deformación**	**d**	**e**	**Esfuerzo (kg/cm2)**
0	0	0	0	0	0
0,018	20911	8,867E-05	0,009	0,0000443	11,70562524
0,043	42927	0,000211823	0,0215	0,000105911	24,02981084
0,066	64613	0,000325123	0,033	0,000162562	36,16926801
0,09	81427	0,00044335	0,045	0,000221675	45,58146172
0,121	102356	0,000596059	0,0605	0,00029803	57,29716305
0,144	120750	0,00070936	0,072	0,00035468	67,59381413
0,179	145698	0,000881773	0,0895	0,000440887	81,5592839
0,212	164613	0,001044335	0,106	0,000522167	92,14758198
0,243	183831	0,001197044	0,1215	0,000598522	102,9054944
0,277	203419	0,001364532	0,1385	0,000682266	113,8705265
0,315	223460	0,001551724	0,1575	0,000775862	125,0891404
0,352	244248	0,00173399	0,176	0,000866995	136,7259123
0,392	263819	0,001931034	0,196	0,000965517	147,6814281
0,432	286101	0,002128079	0,216	0,001064039	160,1545161
0,462	303515	0,002275862	0,231	0,001137931	169,9025797
0,486	321243	0,002394089	0,243	0,001197044	179,8264152
0,513	340150	0,002527094	0,2565	0,001263547	190,410235
0,553	362136	0,002724138	0,2765	0,001362069	202,7176271
0,575	371090	0,002832512	0,2875	0,001416256	207,7299253

Módulo de Elasticidad 30% de arcilla – f'c = 207.73 kg/cm2

