 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vigencia 1993-2003	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
Dependencia		Aprobado		Pág.
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(179)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	ANA MARIA VERJEL MACGREGOR GIANCARLO CLARO PEREZ		
FACULTAD	DE INGENIERIA		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA CIVIL		
DIRECTOR	RODRIGO PEÑARANDA JACOME		
TÍTULO DE LA TESIS	DISEÑO DE MORTEROS LIVIANOS, UTILIZANDO ARCILLA MEDIANAMENTE EXPANSIVA DEL BARRIO HATILLO EN OCAÑA NORTE DE SANTANDER Y ARCILLA ALTAMENTE EXPANSIVA DEL SECTOR MOLINOS EL TRIGAL (VÍA MUNICIPIO ZULIA) EN CÚCUTA NORTE DE SANTANDER.		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EN ESTE PROYECTO SE ESTUDIA EL COMPORTAMIENTO DE LOS MORTEROS LIVIANOS UTILIZANDO ARCILLA EXPANDIDA, PRODUCIDA MEDIANTE UN PROCESO DE SINTERIZACION Y TRITURACION, LA CUAL REEMPLAZA EL AGREGADO FINO NATURAL EN LOS MORTEROS CONVENCIONALES. TENIENDO RESULTADOS OPTIMOS TALES COMO: ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESION, BAJA DENSIDAD, RESISTENCIA AL FUEGO Y TERMO – ACUSTICOS. LOGRANDO LA RECUPERACION DEL ECOSISTEMA Y CAUDALES DE LOS RIOS PAMPLONITA Y ALGODONAL DEL MUNICIPIO DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 179	PLANOS:	ILUSTRACIONES:118	CD-ROM:1

DISEÑO DE MORTEROS LIVIANOS, UTILIZANDO ARCILLA
MEDIANAMENTE EXPANSIVA DEL BARRIO HATILLO EN OCAÑA NORTE DE
SANTANDER Y ARCILLA ALTAMENTE EXPANSIVA DEL SECTOR MOLINOS
EL TRIGAL (VÍA MUNICIPIO ZULIA) EN CÚCUTA NORTE DE SANTANDER.

AUTORES:

ANA MARIA VERJEL MACGREGOR

GIANCARLO CLARO PEREZ

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director:

RODRIGO PEÑARANDA JACOME

INGENIERO EN METALURGIA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA CIVIL

Ocaña, Colombia

Octubre de 2017

Índice

Capítulo 1. Diseño de morteros livianos utilizando arcilla medianamente expansiva del barrio Hatillo en Ocaña Norte de Santander y arcilla altamente expansiva del sector molinos el trugal (Vía municipio Zulia) en Cúcuta norte de Santander	18
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Formulación del problema.....	19
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo general.	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 Justificación.....	20
1.5 Delimitaciones.	20
Capítulo 2. Marco referencial	22
2.1 Marco histórico.....	22
2.2 Marco contextual.	27
2.3 Marco conceptual.	29
2.3.1 Arcilla.	29
2.3.2 Arcilla expansiva.	29
2.3.3 Arcilla expandida.....	30
2.3.4 Sinterización.	31
2.3.5 Mortero.	32
2.3.6 Cemento.....	32
2.3.7 Agregado.	33
2.3.8 Agua.	33
2.3.9 Microscopio electrónico de barrido.....	33
2.4 Marco teórico.	34
2.4.1 Hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida.....	34
2.4.2 Hormigones livianos.....	35
2.4.3 Morteros aligerados con arcilla expandida: influencia de la granulometría y la adición de fibras de vidrio ar en el comportamiento mecánico	35

2.4.4 Morteros de mampostería ligera hechos con arcilla expandida y agregados reciclados.	36
2.4.5 Influencia de las adiciones de residuos de ladrillos de arcilla cocida sobre la durabilidad de los morteros.....	36
2.4.6 Hormigo con agregados livianos.	37
2.4.7 Elaboración y evaluación de placas prefabricadas de concreto aligerado con arcilla expandida para uso como coberturas de estructuras pecuarias.	38
2.4.8 Comparación de cuantías de materiales de construcción para estructuras aporticadas y de sistema combinado en concreto convencional vs concreto liviano de acuerdo con lo indicado en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.	38
2.4.9 Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canteras localizadas en el sur de la sabana de Bogotá.	40
2.4.10 Propiedades físicas y durabilidad de morteros aligerados con arcilla expandida y agregados con áridos reciclados.	41
2.5 Marco legal.....	43
2.5.1 Norma: (INV E-125-07).	44
2.5.2 Norma: (INV E-126-07).	44
2.5.3 Norma: (INV E-127-07).	45
2.5.4 Norma: (INV E-120-07).	46
2.5.5 Norma: (INV E-132-07).	47
2.5.6 Norma: NTC 3329 (ASTM C270).	47
2.5.7 Norma: NTC 111	48
2.5.8 Norma: NTC 77 (ASTM C136).	48
2.5.9 Norma: NTC 237	49
2.5.10 Norma: NTC 92 (ASTM C29).	50
2.5.11 Norma: NTC 220.	52
Capítulo 3. Metodología de investigación.....	53
3.1 Tipo de investigación.....	53
3.2 Población.	53
3.3 Muestra.....	53
3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de información.	54

3.5 Análisis de información.....	54
Capítulo 4. Resultados.....	56
4.1 Objetivo 1. Analizar las propiedades de las arcillas mediante los laboratorios de límites de Atterberg, contenido de humedad, aparato de Lambe, expansión libre en probeta.	56
4.1.1 Contenido de humedad.	56
4.1.2 Límites de Atterberg.....	59
4.1.3 Límite de contracción.	62
4.1.4 Ensayo presión de expansión de lambe.	65
4.1.5 Ensayo de expansión libre en probeta.	68
4.1.6 Gravedad específica de los sólidos.....	70
4.1.7 Análisis granulométrico - Método del hidrómetro.	71
4.2 Objetivo 2. Elaborar el agregado liviano mediante la sinterización de la arcilla.....	74
4.2.1 Actividades para la producción del agregado liviano.....	74
4.2.1.1 Diseño de la mezcla (Muestra-materia orgánica-agua).	75
4.2.1.2 Encofrado y desencofrado de probetas.	75
4.2.1.3 Sinterización de las probetas.	77
4.2.1.4 Trituración de las probetas para la obtención del agregado fino.....	78
4.2.2 Ensayos para determinar las propiedades de los agregados finos.	79
4.2.2.1 Granulometría de los agregados	80
4.2.2.2 Densidad y absorción	84
4.2.2.3 Masa unitaria suelta y compactada.....	87
4.3 Objetivo 3. Ensayar los diferentes porcentajes del material liviano (arcilla expandida) que reemplazarán el agregado fino (arena) en cada dosificación a diseñar, para los morteros propuestos en la tabla D.3.4-1 de la NSR-10.	91
4.3.1 Ilustración para el cálculo de las diferentes dosificaciones.	92
4.3.1.1 Paso 1. Cuantía del cemento.....	92
4.3.1.2 Paso 2. Cantidad de agua.....	92

4.3.1.3 Paso 3. Contenido del árido.....	93
4.3.1.4. Paso 4. Ajustes por humedad.....	95
4.3.1.5 Paso 5. Ensayo de fluidez.....	96
4.3.2 Dosificaciones de mortero liviano arcilla expandida de Ocaña.	96
4.3.2.1 Mortero tipo H utilizando arcilla expandida de Ocaña.	97
4.3.2.2 Mortero tipo M utilizando arcilla expandida de Ocaña.....	98
4.3.2.3 Mortero tipo S utilizando arcilla expandida de Ocaña.....	99
4.3.2.4 Determinación de la fluidez del mortero liviano, utilizando arcilla expandida de Ocaña.	100
4.3.3 Dosificaciones de mortero liviano con arcilla expandida de Cúcuta.	100
4.3.3.1 Mortero tipo H utilizando arcilla expandida de Cúcuta.....	101
4.3.3.2 Mortero tipo M utilizando arcilla expandida de Cúcuta.....	102
4.3.3.3 Mortero tipo S utilizando arcilla expandida de Cúcuta.....	103
4.3.3.4 Determinación de la fluidez del mortero liviano, utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	104
4.3.4 Dosificaciones de mortero con arena del rio Algodonal.	104
4.3.4.1 Mortero tipo H utilizando arena del rio Algodonal.....	105
4.3.4.2 Mortero tipo M utilizando arena del rio Algodonal.....	106
4.3.4.3 Mortero tipo S utilizando arena del rio Algodonal.....	107
4.3.4.4 Determinación de la fluidez del mortero convencional, utilizando arena del rio Algodonal.	108
4.3.5 Ensayo de resistencia a la compresión.	109
4.3.5.1 Resultado de las resistencias de los morteros convencionales.	109
4.3.5.2 Resultado de las resistencias a los 7 días de los morteros livianos.	109
4.3.5.2 Resultado de las resistencias a los 14 días de los morteros livianos. ...	110
4.3.5.2 Resultado de las resistencias a los 14 días de los morteros livianos. ...	110

4.3.5.2 Análisis de las resistencias de los morteros livianos.....	110
4.3.5.2.1 Mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña.....	111
4.3.5.2.2 Mortero tipo H con arcilla expandida de Cúcuta.....	111
4.3.5.2.3 Mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña.....	112
4.3.5.2.4 Mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta.....	113
4.3.5.2.5 Mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña.....	114
4.3.5.2.6 Mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta.....	115
4.4 Objetivo 4. Comparar por medio de un análisis de presupuesto el costo de un mortero liviano y un mortero convencional.....	116
4.4.1 Presupuestos de los morteros.....	116
4.4.1.1 Presupuesto del mortero tipo H.....	116
4.4.1.2 Presupuesto del mortero tipo M.....	117
4.4.1.3 Presupuesto del mortero tipo S.....	118
4.4.1.4 Costo del agregado liviano.....	119
4.4.2 Análisis presupuestal de los diferentes morteros realizados.....	119
4.4.2.1 Análisis presupuestal del mortero tipo H.....	119
4.4.2.2 Análisis presupuestal del mortero tipo M.....	120
4.4.2.3 Análisis presupuestal del mortero tipo S.....	121
Capítulo 5. Conclusiones.....	122
Capítulo 6. Recomendaciones.....	125
Referencias.....	127
Apéndices.....	131
Apéndice A. Laboratorio realizados para la clasificación de las arcillas.....	132
Apéndice B. Procedimiento para realizar el agregado liviano.....	139
Apéndice C. Ensayos realizados al agregado fino natural y sinterizado.....	142
Apéndice D. Ensayo de resistencia a la compresión para morteros.....	148

Apéndice E. Formatos del ensayo de resistencia a la compresión de morteros 153

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación Ocaña Norte de Santander.	27
Figura 2. Ubicación barrio Hatillo en Ocaña Norte de Santander.	28
Figura 3. Ubicación molinos el trigal en Cúcuta Norte de Santander.	28
Figura 4. Ubicación de la Universidad Francisco de Paula Santander, sede principal. .	29
Figura 5. Determinación del contenido de humedad de la arcilla de Ocaña N.S.	57
Figura 6. Determinación del contenido de humedad de la arcilla de Cúcuta N.S.	58
Figura 7. Determinación de los límites de Atterberg de la arcilla de Ocaña N.S.	59
Figura 8. Determinación de los límites de Atterberg de la arcilla de Cúcuta N.S.	60
Figura 9. Clasificación de suelos. AASHTO.	61
Figura 10. Carta de plasticidad para la clasificación unificada de suelos.	62
Figura 11. Determinación del límite de contracción de la arcilla de Ocaña N.S.	63
Figura 12. Determinación del límite de contracción de la arcilla de Cúcuta N.S.	64
Figura 13. Ensayo presión de expansión de lambe de la arcilla de Ocaña N.S.	65
Figura 14. Ensayo presión de expansión de lambe de la arcilla de Cúcuta N.S.	66
Figura 15. Curva para determinar el %PVC de expansión.	67
Figura 16. Ensayo de expansión libre en probeta de la arcilla de Ocaña N.S.	69
Figura 17. Ensayo de expansión libre en probeta de la arcilla de Cúcuta N.S.	69
Figura 18. Gravedad específica de los sólidos para la arcilla de Ocaña N.S.	70
Figura 19. Gravedad específica de los sólidos en la arcilla de Cúcuta N.S.	71
Figura 20. Análisis granulométrico- método del hidrómetro de la arcilla de Ocaña N.S.	72
.....	72
Figura 21. Análisis granulométrico- método del hidrómetro de la arcilla de Cúcuta N.S.	73
.....	73
Figura 22. Proceso de sinterización de las probetas.	74
Figura 23. Encofrado de las probetas de las muestras Ocaña-Cúcuta.	76
Figura 24. Desencofrado de probetas de las muestras Ocaña-Cúcuta.	76
Figura 25. Curva térmica de la sinterización de las probetas.	77
Figura 26. Expansividad Ocaña- Cúcuta.	78
Figura 27. Trituradora de mandíbula marca Orión.	79
Figura 28. Trituradora de disco marca Orión.	79
Figura 29. Análisis granulométrico de la arena del río Algodonal.	80
Figura 30. Análisis granulométrico de la arcilla expandida de Ocaña N.S.	81
Figura 31. Análisis granulométrico de la arcilla expandida de Cúcuta N.S.	82
Figura 32. Granulometría de la arena del río Algodonal.	83
Figura 33. Granulometría de arcilla expandida de Ocaña.	83
Figura 34. Granulometría de la arcilla expandida Cúcuta.	84
Figura 35. Densidad y absorción de la arena del río Algodonal.	85
Figura 36. Densidad y absorción de la arcilla expandida de Cúcuta N.S.	85
Figura 37. Densidad y absorción de la arcilla expandida de Ocaña N.S.	86
Figura 38. Resultados del ensayo de densidad y absorción.	87
Figura 39. Masa unitaria suelta y compactada de la arena del río Algodonal.	88
Figura 40. Masa unitaria suelta y compactada de la arcilla expandida de Ocaña N.S. ...	89
Figura 41. Masa unitaria suelta y compactada de la arcilla expandida de Cúcuta N.S. ..	90
Figura 42. Contenido de cemento.	92
Figura 43. Relación Agua/Cemento.	93
Figura 44. Resistencia de mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña.	111
Figura 45. Resistencia de mortero tipo H con arcilla expandida de Cúcuta.	111
Figura 46. Resistencias obtenidas para el mortero tipo H.	112

Figura 47. Resistencia de mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña.	112
Figura 48. Resistencia de mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta.	113
Figura 49. Resistencia de los morteros tipo M.	114
Figura 50. Resistencia de mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña.	114
Figura 51. Resistencia de mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta.	115
Figura 52. Resistencia de los morteros tipo S.	115
Figura 53. Análisis presupuestal del mortero tipo H.	120
Figura 54. Analisis presupuestal del mortero tipo M.	120
Figura 55. Análisis presupuestal del mortero tipo S.	121
Figura 56. Análisis presupuestal de los morteros propuestas en la investigación.	121
Figura 57. Contenido de Humedad de las muestras Ocaña- Cúcuta.	132
Figura 58. Límite liquido de las muestras Ocaña-Cúcuta.	133
Figura 59. Límite plástico de las muestras Ocaña-Cúcuta.	134
Figura 60. Límite de contracción.	135
Figura 61. Presión de expansión de Lambe de las muestras Ocaña-Cúcuta.	136
Figura 62. Expansión libre en probeta.	137
Figura 63. Gravedad específica.	137
Figura 64. Granulometría por medio del hidrómetro de las muestras Cúcuta-Ocaña. .	138
Figura 65. Disgregación de las muestras de arcillas Cúcuta-Ocaña.	139
Figura 66. Relación (agua-materia orgánica-suelo).	139
Figura 67. Encofrado y desencofrado de las probetas.	140
Figura 68. Mufla que alcanza la temperatura de 1200°C.	140
Figura 69. Probetas sinterizadas de las muestras Cúcuta-Ocaña.	141
Figura 70. Agregado fino (liviano) de las muestras de Cucuta-Ocaña.	141
Figura 71. Granulometría de la arcilla expandida de Ocaña.	142
Figura 72. Granulometría de la arcilla expandida de Cúcuta.	142
Figura 73. Granulometría de la arena del rio Algodonal.	143
Figura 74. Masa unitaria suelta y compactada de la arena del rio Algodonal.	143
Figura 75. Masa unitaria suelta y compactada de la arcilla expandida de Cúcuta.	144
Figura 76. Masa unitaria suelta y compactada de la arcilla expandida de Ocaña.	144
Figura 77. Muestra saturada superficialmente seca de la arena del rio Algodonal.	145
Figura 78. Muestra saturada superficialmente seca de la arcilla expandida de Cúcuta.	145
.....	145
Figura 79. Muestra saturada superficialmente seca de la arcilla expandida de Ocaña.	146
Figura 80. Picnómetro más agua hasta la calibración de la arcilla expandida de Ocaña.	146
.....	146
Figura 81. Picnómetro más agua hasta la calibración de la arcilla expandida de Cúcuta.	147
.....	147
Figura 82. Cemento más por menos.	148
Figura 83. Cemento-Arcilla expandida Cúcuta.	148
Figura 84. Cemento-Arcilla expandida Ocaña.	149
Figura 85. Moldes (5cmx5cmx5cm)	149
Figura 86. Mezcla de mortero.	150
Figura 87. Llenado de los moldes con la mezcla de mortero.	150
Figura 88. Cubos de los diferentes tipos de morteros.	151
Figura 89. Agua con cal.	151
Figura 90. Almacenamiento de cubos.	152
Figura 91. Ensayo de resistencia a la compresión de morteros.	152
Figura 92. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña a los 7 días.	153

Figura 93. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Cucuta a los 7 días.....	154
Figura 94. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arena del rio Algodonal a los 7 días.	155
Figura 95. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña a los 7 días.	156
Figura 96. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta a los 7 días.	157
Figura 97. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arena del rio Algodonal a los 7 días.	158
Figura 98. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña a los 7 días.....	159
Figura 99. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta a los 7 días.....	160
Figura 100. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arena del rio Algodonal a los 7 días.	161
Figura 101. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña a los 14 días.	162
Figura 102. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Cúcuta a los 14 días.	163
Figura 103. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arena del rio Algodonal a los 14 días.	164
Figura 104. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña a los 14 días.	165
Figura 105. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta a los 14 días.	166
Figura 106. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arena del rio Algodonal a los 14 días.	167
Figura 107. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña a los 14 días.....	168
Figura 108. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta a los 14 días.	169
Figura 109. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arena del rio Algodonal a los 14 días.	170
Figura 110. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña a los 28 días.	171
Figura 111. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Cúcuta a los 28 días.	172
Figura 112. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arena del rio Algodonal a los 28 días.	173
Figura 113. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña a los 28 días.	174
Figura 114. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta a los 28 días.	175
Figura 115. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arena del rio Algodonal a los 28 días.	176
Figura 116. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña a los 28 días.....	177
Figura 117. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta a los 28 días.	178

Figura 118. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arena del rio Algodonal a los 28 días. 179

Lista de tablas

Tabla 1. Ensayos de laboratorio realizados a las arcillas expansivas.....	56
Tabla 2. Límites de Atterberg.....	61
Tabla 3. Clasificación del suelo según el PCV.....	67
Tabla 4. Potencial de cambio volumétrico según Lambe.....	68
Tabla 5. Diseño de la mezcla (Muestra-materia orgánica- agua).....	75
Tabla 6. Porcentaje de humedad presente en las probetas.....	75
Tabla 7. Dimensiones de las probetas.	76
Tabla 8. Porcentaje de expansión de la probeta de Ocaña.....	77
Tabla 9. Porcentaje de expansión de la probeta de Cúcuta.	78
Tabla 10. Módulos de finura de los agregados finos.....	84
Tabla 11. Diferencia de densidades.....	86
Tabla 12. Resultados de la masa unitaria suelta y compactada de los agregados.	91
Tabla 13. Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción.....	91
Tabla 14. Proporciones iniciales.....	94
Tabla 15. Ajuste por humedad del mortero liviano.....	95
Tabla 16. Dosificación final del mortero liviano.....	95
Tabla 17. Propiedades de los materiales para la dosificación del mortero liviano con arcilla expandida de Ocaña.	96
Tabla 18. Proporciones iniciales del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.	97
Tabla 19. Ajuste por humedad del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.	97
Tabla 20. Dosificación final del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.	97
Tabla 21. Proporciones iniciales del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.	98
Tabla 22. Ajuste por humedad del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.	98
Tabla 23. Dosificación final del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.	98
Tabla 24. Proporciones iniciales del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.	99
Tabla 25. Ajuste por humedad del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.	99
Tabla 26. Dosificación final del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.	99
Tabla 27. Determinación de la fluidez del mortero liviano, utilizando arcilla expandida de Ocaña.....	100
Tabla 28. Propiedades de los materiales para la dosificación del mortero liviano con arcilla expandida de Cucuta.	100
Tabla 29. Proporciones iniciales del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Cucuta.	101
Tabla 30. Ajuste por humedad del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	101
Tabla 31. Dosificación final del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	101
Tabla 32. Proporciones iniciales del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	102

Tabla 33. Ajuste por humedad del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	102
Tabla 34. Dosificación final del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	102
Tabla 35. Proporciones iniciales del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	103
Tabla 36. Ajuste por humedad del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	103
Tabla 37. Dosificación final del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm ²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	103
Tabla 38. Determinación de la fluidez del mortero liviano, utilizando arcilla expandida de Cúcuta.	104
Tabla 39. Propiedades de los materiales para la dosificación del mortero con arena del rio Algodonal.	104
Tabla 40. Proporciones iniciales del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm ²), utilizando arena del rio Algodonal.	105
Tabla 41. Ajuste por humedad del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm ²), utilizando arena del rio Algodonal.	105
Tabla 42. Dosificación final del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm ²), utilizando arena del rio Algodonal.	105
Tabla 43. Proporciones iniciales del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm ²), utilizando arena del rio Algodonal.	106
Tabla 44. Ajuste por humedad del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm ²), utilizando arena del rio Algodonal.	106
Tabla 45. Dosificación final del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm ²), utilizando arena del rio Algodonal.	106
Tabla 46. Proporciones iniciales del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm ²), utilizando arena del rio Algodonal.	107
Tabla 47. Ajuste por humedad del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm ²), utilizando arena del rio Algodonal.	107
Tabla 48. Dosificación final del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm ²), utilizando arena del rio Algodonal.	107
Tabla 49. Determinación de la fluidez del mortero convencional, utilizando arena del rio Algodonal.	108
Tabla 50. Dosificaciones de los morteros livianos y convencionales.	108
Tabla 51. Resistencia a la compresión de los morteros convencionales.	109
Tabla 52. Resistencia a la compresión de los morteros livianos a los 7 días.	109
Tabla 53. Resistencia a la compresión de los morteros livianos a los 14 días.	110
Tabla 54. Resistencia a la compresión de los morteros livianos a los 28 días.	110
Tabla 55. Presupuesto del mortero tipo H (arena rio Algodonal).	116
Tabla 56. Presupuesto del mortero liviano tipo H (Arcilla expandida Cúcuta).	116
Tabla 57. Presupuesto del mortero liviano tipo H (Arcilla expandida Ocaña).	117
Tabla 58. Presupuesto del mortero liviano tipo M (arena rio Algodonal).	117
Tabla 59. Presupuesto del mortero liviano tipo M (Arcilla expandida Cucuta).	117
Tabla 60. Presupuesto del mortero tipo M (Arcilla expandida Ocaña).	118
Tabla 61. Presupuesto del mortero tipo S (arena rio algodonal).	118
Tabla 62. Presupuesto del mortero tipo S (Arcilla expandida Cúcuta).	118
Tabla 63. Presupuesto del mortero tipo S (Arcilla expandida Ocaña).	119
Tabla 64. Costo del agregado liviano.	119

Introducción

Para nadie es un secreto que muchos de los materiales utilizados en el campo de la ingeniería repercuten de forma directa e indirecta en el ambiente, causando cambios drásticos en el clima, fuentes hídricas, suelo, etc. Es por ello, que hoy en día se han buscado nuevas alternativas que logren reducir este impacto dando resultados satisfactorios. En este proyecto se buscó reemplazar el agregado natural (arena) en los morteros convencionales por arcillas expandidas, producidas mediante un proceso de sinterización y trituración, logrando obtener características ideales y propias de morteros livianos.

La creación de este tipo de agregado permitirá no solo la innovación de morteros de alta resistencia a la compresión, resistencia al fuego, baja densidad y aislante termo-acústicos, sino que contribuirán con la recuperación de los caudales y ecosistemas presentes en las fuentes hídricas pamplonita y algodonal, afectadas por la sobreexplotación de forma legal e ilegal del material de arrastre utilizado en diferentes procesos afines a la construcción y que debido al poco control han causado efectos que hoy en día aún son reparables de tomarse las acciones pertinentes.

Capítulo 1. Diseño de morteros livianos utilizando arcilla medianamente expansiva del barrio Hatillo en Ocaña Norte de Santander y arcilla altamente expansiva del sector molinos el trigal (Vía municipio Zulia) en Cúcuta norte de Santander

1.1 Planteamiento del problema

La innovación y creación de nuevos materiales están hoy en día a la vanguardia en el desarrollo de obras de ingeniería, no solo pensando en la evolución en cuanto lo estructural y arquitectónico, sino que también en el impacto que estos causan al ambiente.

En Ocaña Norte de Santander se encuentran diferentes fuentes hídricas, las cuales no solo proveen el vital recurso, sino que también son las principales zonas de extracción de material de arrastre para las diferentes actividades afines con la construcción, pero debido al mal manejo y poco control de las empresas se ha visto afectada la biodiversidad y el ecosistema presente a lo largo de la cuenca; influenciando esto de forma directa los caudales de los ríos Pamplonita y Algodonal. Por ello, entidades como Corponor se han visto en la obligación de suspender temporalmente la explotación de material de arrastre en las fuentes ya mencionadas. (Resolución N° 00056, 2016)

Como se aprecia es necesario la búsqueda de nuevas alternativas que logren reemplazar el agregado fino en las dosificaciones de morteros convencionales, es por tal motivo que se observó en la arcilla expandida una posible solución, la cual después de un proceso de sinterización y reducción en su densidad, se permitirá implementarla como agregado fino en las dosificaciones de morteros livianos.

1.2 Formulación del problema.

¿La utilización de arcilla expandida como agregado fino permitirá el diseño óptimo de dosificaciones para morteros livianos?

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Diseñar morteros livianos, utilizando arcilla medianamente expansiva del barrio Hatillo en Ocaña Norte de Santander y altamente expansiva del sector molinos el trigal (Vía municipio Zulia) en Cúcuta Norte de Santander.

1.3.2 Objetivos específicos.

Analizar las propiedades de las arcillas mediante los laboratorios de límites de Atterberg, contenido de humedad, aparato de Lambe, expansión libre en probeta.

Elaborar el agregado liviano mediante la sinterización de la arcilla.

Ensayar los diferentes porcentajes del material liviano (arcilla expandida) que reemplazaran el agregado fino (arena) en cada dosificación a diseñar, para los morteros propuestos en la tabla D.3.4-1 de la NSR-10.

Comparar por medio de un análisis de presupuesto el costo de un mortero liviano y un mortero convencional.

1.4 Justificación.

Es de vital importancia dar solución al problema que se está presentado, la sobreexplotación de material de arrastre, ya que esto genera reducción del caudal y afectación del ecosistema, tanto ha sido la problemática que se ha suspendido la extracción de los mismos. Por ello, al implementar nuevos materiales se disminuirá el impacto de los diferentes procesos de construcción que hoy en día deterioran las fuentes hídricas.

Como solución surge la creación de morteros livianos a base de arcilla expandida que presentan una alta resistencia mecánica, un magnífico comportamiento como aislante acústico, sobre todo al ruido de impacto que se propaga por vibraciones a baja frecuencia. La estructura porosa amortigua las vibraciones disipando la energía acústica; de igual modo el aire en reposo es el mejor aislante que se conoce. La fina estructura reticular de la arcilla expansiva conforma multitud de cámaras microscópicas de aire que confieren su capacidad aislante con una conductividad térmica y que gracias a su punto de fusión de 1200°C resulta un buen aislante del fuego. (Anónimo, 2017)

La investigación pretende crear un nuevo material, mediante ensayos, recopilación y análisis de resultados. Los cuales permitirán ampliar el campo en investigaciones y proyectos que generen o abran una puerta a soluciones científicas a problemas futuros.

1.5 Delimitaciones.

1.5.1 Operativa. Se desea mediante el estudio de las arcillas expansivas, la implementación de estas como agregado liviano para el diseño de morteros, permitiendo así la disminución de la explotación del material de arrastre e impacto ambiental producido por el mismo, esto se desarrollará mediante ensayos de laboratorio, toma y análisis de resultados.

1.5.2 Conceptual. Arcilla, arcilla expansiva, arcilla expandida, sinterización, mortero, cemento, agregado, agua.

1.5.3 Geográfica. Barrió el Hatillo en Ocaña Norte de Santander, sector molinos el trigal (Vía municipio Zulia) en Cúcuta Norte de Santander y Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta.

1.5.4 Temporal. 5 meses.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico.

Historia de la producción de arcilla expansiva. Los primeros intentos de producción de materiales de construcción ligeros, mediante poros en ladrillos cerámicos con ayuda de materias combustibles en forma finísima, se remontan a las épocas del imperio sumerio-babilónico, aproximadamente en el año 2.500 a. C.

En Alemania se patentó por primera vez un procedimiento de obtención de "cuerpos arcillosos porosos por evaporación rápida de agua" el 27 de abril de 1880 Braunschweiger G. Kükenthal. Ya el año 1912 St. Hayde de EE.UU. realizó los primeros ensayos para el aprovechamiento del fenómeno expansivo de esquistos arcillosos, y en 1913 se le concedió también una patente. Los primeros gránulos de arcilla expandida elaborables de acuerdo con la técnica de la construcción se produjeron, según la patente USA de fecha 12 de febrero de 1918, por Stephen John Hayde. Una patente, concedida el 2 de septiembre de 1919 a Oskar Ohlsen, no pudo utilizarse económicamente por discusión de patentes. (Schmidt, 1971)

El granulado de arcilla expansiva aparecido 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 1ra Guerra mundial. Después de diversas construcciones navales eficaces, pronto se unió en su consumo la industria americana de la construcción, con lo que casi se triplicó la producción desde el fin de la 1ra guerra mundial hasta 1945. Cuando termina la 2da guerra mundial experimenta un notable aumento el empleo de productos de arcilla expandida en las construcciones elevadas y subterráneas, de tal forma que la producción en EE.UU. de arcilla

expandida en el año 1955 fue de 1,7 millones de m³ y en 1958 alcanzó más de los 3 millones de m³.

Según Steinicke, puede considerarse a Dinamarca como el país del desarrollo de la arcilla expandida en Europa, pues ya antes y durante la 2da guerra mundial se levantaron muchas viviendas a base de este material. En Rosnes, cerca de Kalundborg, se erigió la primera factoría de arcilla expandida, la cual producía granulado de arcilla expansiva bajo el nombre de LECA en un horno rotatorio. Entre los países de la Europa oriental donde primero tuvo lugar la producción de arcilla expandida fue en Checoslovaquia y después, a mayor escala, en la URSS, donde la arcilla expandida producida se vende bajo el nombre comercial de KERAMSIT.

Prescindiendo de pequeños intentos, la primera producción de arcilla expandida económicamente rentable producida en Alemania tuvo lugar en los años 1935 a 1939 en Sommerfeld/Niederlausitz y en Rüdersdorf/Berlín, según una patente de Philipp Holzmann AG. Con la misma patente se produjeron también granulados de arcilla expandida en Nienburg/Saale durante la 2da guerra mundial y se utilizó exclusivamente para la construcción de buques de hormigón ligero. La sugerencia parece ser que procede de Noruega, en donde ya se había empleado material Hovint para la construcción de buques mercantes medianos a fin de economizar acero. Después de la 2da guerra mundial surgió la primera factoría de arcilla expandida en Itzehoe/Mittelholstein, que a partir de febrero de 1956 produjo este material con arreglo al procedimiento danés LECA. (Schmidt, 1971)

La primera bibliografía digna de mención sobre la producción de áridos ligeros de arcillas, esquistos arcillosos y otros materiales, apareció en el año 1948 como informe de

investigación del Ministerio del Interior Americano. Dos años más tarde se informó en el "British Clayworker" sobre el ensayo de arcillas con respecto a su idoneidad como áridos para construcciones ligeras. En la misma revista se describe en 1951 un procedimiento desarrollado en el North Carolina State College para la producción de grandes elementos cerámicos ligeros a base de una mezcla de arcilla y áridos ligeros. Asimismo, en el "British Clayworker" y en el "Journal of the American Ceramic Society", Ch. M. Riley informa resumidamente sobre el estado actual de la explicación de las causas de la expansión de las arcillas. El mismo año se publica en una revista canadiense un artículo sobre "Arcillas expansivas y arcillas esquistosas como áridos ligeros". En el cuaderno n.º 12/1952 de la revista "Osterreichischen Zieglerzeitung", K. Bergmann trata de diversos requisitos que hay que exigir a los materiales de construcción.

Entre otras cosas, se menciona también la expansión de las arcillas por desarrollo de gases. Sobre este mismo asunto apareció el año 1952 una publicación de Meyer en la "Revista de la industria ladrillera" sobre la "Producción industrial de áridos para la fabricación de hormigón ligero de pasta de ladrillos o materias primas similares". En los años 1952-1956 se publicaron, en rápida sucesión, diversos artículos americanos, británicos, canadienses y uno danés sobre la producción de arcilla expandida, el desarrollo de bloques cerámicos ligeros y la utilización de LECA para el aislamiento térmico. (Schmidt, 1971)

En el cuaderno n.º 2 (1956) de la revista alemana "Zement-Kalk-Gips" Th. Kristen informa sobre "Ensayos con arcilla expandida obtenida de arcilla alemana", que se coció a modo de ensayo en el horno rotativo danés. Siguen el mismo año, en la revista "Silikattechnik", un artículo de L. Schätzer con el título de "Áridos cerámicos para hormigón ligero" y un trabajo sobre "Cerámica esponjosa" de W. Kalb y E. Wilhelm. Dunham,

Catschpole y Pfeiffenberger se ocupan en el año 1957, en diversas revistas de habla inglesa, de la producción de áridos ligeros de arcilla de acuerdo con el procedimiento de sinterización en parrilla. Igualmente, en 1957, Steinicke trata por primera vez, en una revista alemana, del nuevo material de construcción "Arcilla expandida LECA". Además de cuatro publicaciones americanas en el año 1958, W. Stanzak describe, en "Silikattechnik" n.º 4 (1958), la "Producción de KERAMSIT en Checoslovaquia" y F. Kaempfe, en la revista "Zement-Kalk-Gips", los ensayos con arcillas de aluvión australianas. Un informe digno de mención apareció el mismo año en la revista soviética "Steklo y Keramika", de J. N. Cernjak, sobre los fundamentos físicos del proceso de expansión de arcillas de fácil fusión. (Schmidt, 1971)

En 1959 y 1960 se publicaron en la revista americana "Brick & Clay Record" varios artículos, que se ocupaban preferentemente de la producción de ladrillos ligeros aglomerados con arcilla o bien de bloques ligeros de arcilla. H. Fastabend y J. L. Ruyter informan, en "Tonindustrie-Zeitung" (1959), de "Investigaciones sobre las cualidades de hinchamiento de arcillas de marismas". En "Silikattechnik" cuaderno n.º 3 (1959), J. N. Tschernjak explica más detalladamente los fundamentos físicos del proceso de expansión. Al año siguiente L. H. Blyumen se ocupa, en la revista "Steklo y Keramika", de la naturaleza físico-química de la expansión de arcillas y V. F. Pavlov se expone, en otro cuaderno de esta revista, sobre la "influencia del cambio de la viscosidad de arcillas de fácil fusión en el intervalo de 800°-1.200°C al sinterizado y la expansión". Las demás publicaciones en los años 1960-1963 de las diversas revistas del país y extranjeras tratan principalmente de la puesta en marcha de nuevas factorías de arcilla expandida y de la fabricación de bloques ligeros de arcilla. El artículo más aclaratorio en lo que se refiere al ensayo en el laboratorio de arcillas con respecto a su capacidad de expansión, así como a la composición de los gases expansivos, fue publicado en la revista "Die Ziegelindustrie" n.º 24 (1963) por W. Sehellmann y H.

Fastabend bajo el título "Investigaciones sobre el proceso de expansión en arcillas". Ya al año siguiente el austríaco G. Bertoldi hizo un resumen sobre las condiciones físicas, químicas y mineralógicas previas para la fabricación de productos de arcilla expandida, en la "Euro-Ceramic". El mismo año apareció, en "Betón Verlag" en Dusseldorf, un libro de K. Walz y G. Wischers sobre el "Estado del desarrollo en los EE.UU. de áridos de arcilla expandida en horno rotatorio". A este sigue un año después, en la editorial "Bauverlag" de Wiesbaden, el libro de K. H. Steinicke sobre "Hormigón pretensado ligero y hormigón ligero de arcilla expandida y arcilla esquistosa expandida". (Schmidt, 1971)

Otras publicaciones aparecieron después en forma de conferencias con motivo de las "3 jornadas ladrilleras 1966" en Essen, que en parte se reproducen en el cuaderno 11/12 de la revista "Die Ziegelindustrie". Se trata aquí de declaraciones de E. A. Siemssen (USA) sobre el "Procedimiento SELAS" y K. Grosskopf sobre la producción de arcilla expandida con arreglo al "Método de vibración" y el "Método de circulación-corriente", mientras que K. Bergmann en su conferencia "Experiencias en la producción y utilización de arcilla expandida" expone el "Procedimiento LECA". El mismo cuaderno contenía una traducción del ruso de J. Bohm, en la que se explica una factoría de Keramsit con un horno de doble tambor. G. Schellbach informó en su conferencia "Novedades de la construcción con piezas terminadas de ladrillos y arcilla expandida", entre otras cosas, sobre pruebas de la calidad (idoneidad) de estas arcillas en el Instituto de investigaciones de ladrillos en Essen. (Schmidt, 1971)

En "Die Ziegelindustrie" n.º 14 (1967) N. Awerbuch trata de un nuevo procedimiento patentado en Francia para la producción de gránulos de arcilla esponjosa. El "Anuario de la técnica ladrillera 1968" (Bauverlag, Wiesbaden), publica un informe resumido de A. Steindl

sobre los áridos cerámicos expandidos en las construcciones actuales, y la firma MIAG, Braunschweig, en el mismo anuario y bajo el título "Instalación para cocción de arcilla expandida" expone un precalentador de parrilla y uno de cuba para hornos rotatorios. El mismo año W. Sehellmann informa sobre sus investigaciones en relación con "La capacidad expansiva de arcillas y sus causas" en "Sprechsaal" n.º 17/18 (1968), Siguiendo en el n.º 22 de esta revista la "Aportación para la expansión de arcillas y productos de chamota de la industria refractaria, sobre todo de los ladrillos expandidos para crisoles" de G. Routschka y Ch. Buttgereit. En la revista "Silikattechnik" n.º 11 (1969) trata después H. Hoffmann de "La capacidad expansiva de la pizarra para cubiertas de Unterloquitzer". Diversos caminos para la "Trabazón cerámica de granulados de arcilla expansiva" se tratan y muestran en la revista "Die Ziegelindustrie" en el n.º 11/12 (1969) por H. J. Krause y en el n.º 20 (1969) por la firma F. Kettenbauer. En el "Anuario de la técnica ladrillera 1970" se describe, por último, en su parte "Novedades técnicas", una "Instalación de arcilla expandida de Krupp", según la cual un horno con precalentador vertical sólo requiere un consumo de calor de 750-800 kcal por kg de arcilla expandida. (Schmidt, 1971)

2.2 Marco contextual.

El proyecto estará orientado en beneficiar el municipio de Ocaña Norte de Santander, dando una posible solución a los problemas ambientales y de construcción. Ver figura 1.

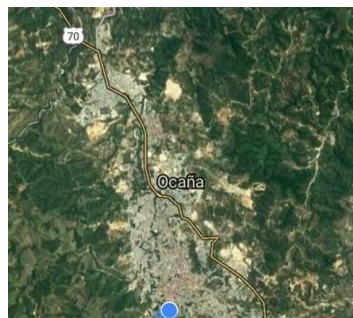


Figura 1. Ubicación Ocaña Norte de Santander.
Nota fuente. Google maps.

Dentro del desarrollo del proyecto será necesario la extracción de arcilla medianamente expansiva proveniente del barrio Hatillo en Ocaña Norte de Santander (Figura 2) y arcilla altamente expansiva del sector de quebrada seca (Vía municipio Zulia) en Cúcuta Norte de Santander. (Figura 3)



Figura 2. Ubicación barrio Hatillo en Ocaña Norte de Santander.
Nota fuente. Google maps.

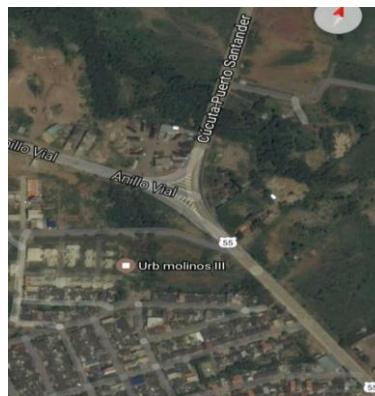


Figura 3. Ubicación molinos el trigo en Cúcuta Norte de Santander.
Nota fuente. Google maps.

Para el desarrollo y preparación del mortero liviano serán utilizados los laboratorios de la Universidad Francisco de Paula Santander, sede principal en la ciudad de Cúcuta Norte de Santander. Ver figura 4.



Figura 4. Ubicación de la Universidad Francisco de Paula Santander, sede principal.
Nota fuente. Google maps.

2.3 Marco conceptual.

2.3.1 Arcilla. El término “arcilla” encierra en sí mismo un significado bastante ambiguo que requiere varias acepciones para su comprensión (tamaño de partícula, mineralogía, petrografía, propiedades físicas, etc.). Las arcillas son fruto de los agentes de meteorización físico-químicos actuantes sobre la roca madre original y se las puede considerar como unas acumulaciones naturales, consolidadas o no, de tamaño de grano fino ($< 1 \mu\text{m}$ según los químicos que estudian los coloides, $< 2 \mu\text{m}$ según los mineralogistas e investigadores del suelo, y $< 4 \mu\text{m}$, según los sedimentólogos) y constituidas por variados minerales arcillosos (silicatos aluminicos hidratados, con iones principalmente de Mg, Fe, K y Na) y otros minerales acompañantes como el cuarzo, los feldespatos, los carbonatos, etc. Además, salvo excepciones, poseen un comportamiento físico muy peculiar frente al agua cual es la plasticidad, e incluso endurecen cuando son secadas o sometidas a tratamientos térmicos a alta temperatura. (Diaz Rodriguez, y Torrecillas, 2002)

2.3.2 Arcilla expansiva. Las arcillas expansivas sufren cambios de volumen debido a las variaciones en su humedad, adquirida por capilaridad y/o por infiltración. Cualquier

construcción ligera asentada sobre este tipo de suelos experimentará deformaciones causadas por la expansión de la arcilla, dichos movimientos se traducen en grietas sobre muros y el levantamiento de pisos. (López Lara, Hernández Zaragoza, Rangel, Coronado Márquez, y Castallo Meneses, 2010)

Este tipo de arcilla es fundamental ya que es la materia prima a utilizar, presentando variación en su grado de expansividad dependiendo la formación a la que pertenece, pero dentro de la investigación se buscó que esta alcanzara el grado de expansividad necesario para ser clasificada como mediana y altamente expansiva.

2.3.3 Arcilla expandida. También conocida como Arlita, es un material de origen cerámico que tiene propiedades aislantes y es producida industrialmente. La materia prima para fabricar este producto es la arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto. Luego de la explotación en la cantera ésta pasa por un proceso de refinamiento para obtener un producto más puro. Esta arcilla pura se almacena en silos cerrados herméticamente donde son homogeneizados y secados.

Cuando la arcilla ya está seca, esta pasa al proceso de molienda donde se obtiene un polvo impalpable denominado crudo es aglomerada con agua en los platos granuladores, y por efecto de la rotación de los platos, éste se redondea hasta formar unas esferas de barro de tamaño controlado cuya granulometría varía entre 0 a 4 mm de diámetro. (Hou Huang, Caicedo Chica, & Falconi Pincay, 2009)

La expansión de la arcilla se lleva a cabo en hornos rotativos gracias a un choque térmico a 1200°C. A esta temperatura, la arcilla empieza a fundir y al mismo tiempo la materia orgánica que se encuentra en el interior de la arcilla empieza a hacer combustión. Los

gases de la combustión tienden a escapar de la esfera y expanden la bola de barro hasta alcanzar 5 veces su tamaño original.

La arcilla expandida es un agregado duro, redondeado de alta porosidad, de color marrón claro y con un peso específico que puede variar entre 270 y 600 kg/ m³ aproximadamente. Posee una superficie rugosa y pueden ser fabricadas en granulometrías variables entre 0 y 40 mm. No es un agregado corrosivo, tiene propiedades aislantes y son capaces de resistir el fuego. Además, no se deterioran al estar expuesto al sol. (Hou Huang, et al, 2009)

2.3.4 Sinterización. Durante la sinterización, los procesos de transporte de masa son cruciales en la densificación de la pieza en verde. En la etapa inicial de la sinterización se forman cuellos entre las partículas que están en contacto debido principalmente a mecanismos de difusión superficial y evaporación-condensación; en esta etapa no hay densificación. Al aumentar la temperatura se genera un límite de grano dentro de cada cuello y cada cavidad intersticial entre partículas se convierte en un poro; en este instante de la sinterización hay un transporte de masa hacia la zona del cuello a través del volumen y el borde de grano; a medida que progresa la sinterización, los poros se hacen más pequeños y más esféricos. La fuerza motriz para la sinterización es la reducción del área total de las superficies de las partículas por lo que las nanopartículas son muy activas durante este proceso. (Muñoz Echaves, Muñoz Menesea, Mancil, & Rodríguez Paez, 2007)

La velocidad de sinterización se eleva a medida que aumenta la temperatura de tratamiento, pero después de la aparición de la fase líquida, en la arcilla cocida, la velocidad disminuye momentáneamente a causa de la pérdida de difusión del oxígeno proveniente del aire; el valor máximo de la velocidad ocurre aproximadamente a los 800 °C. Otro proceso

importante que tiene lugar durante la sinterización de la pieza cerámica está relacionada con el incremento del tamaño de los poros grandes mientras el número total de poros decrece, todo esto debido a que existen en el material gradientes de concentración originados por la diferencia en solubilidades que se presenta en la fase líquida: mayor solubilidad en los poros pequeños que en los grandes. (Muñoz Echaves, et al, 2007)

2.3.5 Mortero. Es toda mezcla de (cemento + arena + agua). Él puede tener función estructural, o no tenerla. Los pañetes, por ejemplo, no poseen función estructural; los morteros usados en mampostería (pega o relleno), o los usados para fundir elementos estructurales, sí poseen tal función. (Salamanca Correa, 2001)

El mortero que se pretende crear mediante la investigación presentara una mezcla de (cemento, agua, y arcilla expandida) “ mortero liviano”, el cual tendra funciones estructurales y no estructurales en cualquier obra de construcción, fundamentado esto en su comportamiento al ser sometido al ensayo de resistencia a la compresión.

2.3.6 Cemento. Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (Norma técnica Colombiana, NTC 31)

Componente fundamental dentro de la mezcla ya que este nos proporcionara y contribuirá con los tiempos de fraguado y resistencias necesarias para permitir la respectiva clasificación de las dosificaciones a diseñar en el tema en cuestión.

2.3.7 Agregado. El agregado en morteros de mampostería debe ser una arena natural o triturada. La arena triturada es el producto obtenido por la trituración de piedra, grava o escoria de alto horno enfriada al aire y especialmente procesada para asegurar una forma apropiada de partículas y una adecuada granulometría. (Norma técnica Colombiana, NTC 2240)

El agregado a utilizar parte de una arcilla expansiva que luego de un proceso de sinterización, molienda, tamizado reemplazara en su totalidad a la arena dentro de la mezcla proporcionando características únicas: disminución en su densidad, aislante termoacústico, facilidad en su embalaje y transporte.

2.3.8 Agua. El agua utilizada para el mortero debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, alcoholes, sales, materiales orgánicos u otras sustancias que pueden ser dañinas para el mortero o el refuerzo embebido. (Norma sismo resistencia, NSR 10)

Como se aprecia una mezcla es el resultado de un grupo de componentes que al reaccionar entre ellos producen un resultado final, el agua es parte fundamental del proyecto ya que gracias a ella se logra consolidar las reacciones químicas necesarias para alcanzar las principales propiedades del mortero liviano.

2.3.9 Microscopio electrónico de barrido. El Microscopio Electrónico del tipo de Barrido permite la observación directa de todo tipo de superficies, así como extender el rango de resolución de las imágenes hasta la escala nanométrica. En efecto, mientras que las observaciones ópticas están limitadas por la longitud de onda de la luz visible a una

resolución del orden de una fracción de micrón (μm) y magnificaciones de unos 2.000x, una micrografía electrónica de barrido alcanza a resolver detalles de unos 4 nanómetros (nm) con magnificaciones del orden de los 100.000 aumentos.

Asimismo, un microscopio electrónico de barrido presenta una gran profundidad de foco, característica privativa de los instrumentos electrónicos, que permite la obtención de micrografías en foco de superficies irregulares como las de una fractura. Dadas estas características, inmediatamente se constituyeron en una herramienta indispensable para numerosas disciplinas científicas y tecnológicas, como la Ciencia de los Materiales y las Ciencias de la Vida. (Ipohorski, 2011)

Dentro del proyecto permitira ampliar informacion que ayudara a complementar la investigacion.

2.4 Marco teórico.

2.4.1 Hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida. El concreto es uno de los materiales de gran importancia en la industria de la construcción. Las propiedades dependerán de la trabajabilidad en estado fresco y su resistencia cuando se endurece. Se deberá seleccionar el cemento y los agregados adecuados para producir un hormigón que tenga las propiedades físicas requeridas. Los agregados ocupan un alto porcentaje del volumen y del peso del hormigón, elementos que influyen en la resistencia mecánica y la densidad final de la mezcla. Es importante mencionar que, en nuestra provincia, no existen agregados livianos con buenas características y, por esto, fue necesario realizar este proyecto de investigación para buscar una alternativa de materiales livianos en nuestro medio, pues

existe abundante materia prima para fabricar este tipo de agregado, disminuyendo así el costo global de una estructura y, a su vez, garantizando una adecuada seguridad. (Yagual Vera, y Villacis Apolinario, 2015)

2.4.2 Hormigones livianos. Los diferentes elementos que se pueden utilizar como agregado liviano para la utilización de hormigones livianos o ligeros son la piedra pomez, ceniza de cascarilla de arroz, poliestireno expandido, lava volcánica, arcilla expandida, entre otras las cuales brindan al hormigón características físicas las cuales lo diferencian del hormigón convencional.

Así como también se da a conocer la clasificación, el tipo de uso y aplicaciones en el campo de construcción, se proporciona también información sobre ensayos realizados con algunos de los agregados livianos.

La variedad de agregados resulta en diversos beneficios como el aumento de rendimiento debido a la reducción de peso del hormigón, específicamente en la reducción de la carga muerta de la estructura, además de una disminución en el transporte de materiales, mejor aislamiento acústico así como una mejor resistencia al fuego y aislamiento térmico que la brindada por el hormigón convencional. (Valdez Guzmán, y Suarez Alcivar, 2010)

2.4.3 Morteros aligerados con arcilla expandida: influencia de la granulometría y la adición de fibras de vidrio ar en el comportamiento mecánico. Los morteros de cemento aligerados con arcilla expandida, para determinar la influencia de la adición de fibras de vidrio resistentes a los álcalis del cemento (AR), en el análisis de las variables: longitud de la fibra, porcentaje e influencia de la dispersabilidad, y la granulometría de la arcilla, sobre el

comportamiento mecánico de los mismos. Los morteros aligerados analizados son morteros de muy baja densidad que se están utilizando como material de relleno, fundamentalmente, en distintas soluciones constructivas. (Merino, Astorqui, y Gonzales Cortina, 2005)

2.4.4 Morteros de mampostería ligera hechos con arcilla expandida y agregados reciclados. Agregado de residuos de concreto y escombros se utilizan para fabricar morteros duraderos sostenibles. Los materiales se evalúan mediante propiedades físicas, químicas y mecánicas. Los materiales reciclados muestran potencial para ser usados. El estudio económico demuestra la viabilidad de esta alternativa.

Una de las aplicaciones más extensas de residuos de construcción y demolición reciclados es la de reciclaje agregado en sustitución del agregado natural. Una aplicación para la fracción fina se investiga en este estudio mediante la preparación de morteros ligeros con diferentes tipos de agregados finos reciclados de hormigón de residuos y escombros. Las propiedades de los materiales se evalúan mediante caracterización física y química, Sus propiedades mecánicas se someten a ensayo y se evalúa la viabilidad económica del producto final. En conclusión, a pesar de las diferencias significativas observadas entre los morteros ligeros y los Incorporando agregados naturales, los primeros siguen siendo una alternativa técnica y económicamente viable. (Muñoz Rupierez, Rodríguez, Gutiérrez Gonzales, y Calderón, 2016)

2.4.5 Influencia de las adiciones de residuos de ladrillos de arcilla cocida sobre la durabilidad de los morteros. Se sabe que el uso de metacaolin ayuda a mejorar las propiedades de los morteros basados en cemento Portland. Presuntas similitudes entre las características del metacaolín y las de una arcilla cocida en polvo (<45 μm). Ladrillo limpio

(CBW) llevó a la investigación del efecto sobre la durabilidad de los morteros de sustitución (10, 25 y 40% en peso) de cemento Portland por CBW. Propiedades tales como 28 y 90 días-resistencia a la compresión, absorción de agua, porosidad aparente, absorción por capilaridad, cloruro, retención, profundidad de carbonatación y resistencia al sulfato. Los morteros curados que contienen CBW, mostró resistencia y densidad mejoradas, como resultado del relleno combinado de poros físicos y pozoalánicos. Efecto de CBW añadido. Sin embargo, el mortero libre de CBW exhibió una mayor dispersión y, siendo más poroso, mayor resistencia al sulfato y capacidad para absorber cloruros. Se encontró un rendimiento óptimo 40% en peso de mortero CBW cuya resistencia a la compresión puede ser hasta un 130% superior a la del CBW mortero. (Schackow, Stringari, Senff, Correa, y Segadaes, 2015)

2.4.6 Hormigo con agregados livianos. En las construcciones civiles actuales, nos encontramos en la mayoría de los casos con distintos tipos de hormigón. Este es una mezcla íntima entre un cementante, un árido fino y un árido grueso, más agua y eventualmente aditivos, que al endurecer a través de un proceso químico denominado fragüe adquiere una consistencia similar a las mejores piedras naturales. Podemos encontrar clasificaciones de los distintos tipos de hormigón según distintos aspectos. Según su tipo de agregado encontramos livianos y pesados A su vez estos pueden tener distintos tipos de resistencia. El hormigón liviano se caracteriza por su capacidad aislante y su baja densidad. Según CIRSOC 201 un hormigón se considera liviano cuando su densidad no excede los 2000 kg/m³. Las demás características dependerán del tipo de agregado. (Armayo Cruz, Buncuga, Cahuape Casaux, Forgione, y Navarrete, 2003)

[2.4.7 Elaboración y evaluación de placas prefabricadas de concreto aligerado con arcilla expandida para uso como coberturas de estructuras pecuarias.](#) Evaluar el uso de la arcilla expandida en concretos livianos, dosificada y elaborada de manera que fuera viable el moldeado de placas con una geometría apropiada, capaz de atender las demandas de confort térmico y de las técnicas para estructuras pecuarias. Modelos de galpones de aves fueron construidos en escala 1:12, de acuerdo con Jentzsch (2002) y localizados en dirección este-oeste. Los techos fueron construidos con tres materiales diferentes: placas prefabricadas de concreto aligerado con arcilla expandida (LWC), tejas en fibrocemento (Fcim) y tejas cerámicas (Cer). Los parámetros evaluados al interior de los modelos reducidos fueron: humedad relativa (HR), índice de temperatura de globo negro y humedad (ITGU) y carga térmica radiante (CTR), durante el verano y el invierno. Los resultados mostraron que los parámetros HR, ITGU y CTR fueron estadísticamente diferentes para cada sistema evaluado. El mejor comportamiento se presentó con el modelo de placas prefabricadas de concreto aligerado con arcillas expandidas (LWC). (Ferreira, Osorio Siaraz, Fiorotti Peixoto, Oliveira de Paula, y Gates, 2010)

[2.4.8 Comparación de cuantías de materiales de construcción para estructuras aperticadas y de sistema combinado en concreto convencional vs concreto liviano de acuerdo con lo indicado en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.](#) De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 y sus decretos reglamentarios 926 del 19 de marzo de 2010, 2525 del 13 de junio de 2010, 092 del 17 de enero de 2011 y 340 del 13 de febrero de 2012 se permite el uso de concreto liviano como material estructural para todos los elementos de una edificación en el cual se deben tener en cuenta unas condiciones tales como:

La resistencia a la compresión debe ser máximo de 35 MPa. La afectación a todas las ecuaciones requeridas para el diseño en donde se encuentre $\sqrt{f^c}$ con un factor λ el cual varía entre 0.75 y 0.85 dependiendo si el tipo de agregado es en su totalidad (fino y grueso) es liviano o únicamente el agregado grueso.

El módulo de elasticidad E está en función de la densidad de equilibrio w_c para valores comprendidos entre 1440 y 2560 kg/m³ y es igual a $w_c 1.5 \cdot 0.043 \sqrt{f^c}$. En el país, se ha utilizado el concreto liviano como parte integrante del sistema de resistencia sísmica en aplicaciones menores, como por ejemplo en puentes peatonales aislados, sin embargo, la tendencia de construir cada vez edificios más altos, creó el escenario ideal para hacer la comparación de cuantías de las edificaciones utilizando los dos tipos de concreto (concreto normal y concreto liviano). (Bueno Quintero, 2015)

Para ello se ubicaron los edificios objeto de estudio de este trabajo en una zona de amenaza sísmica intermedia, más específicamente en la ciudad de Bogotá y en dos tipos de suelo diferentes D y F, en los cuales se construyen bastantes estructuras de este tipo en la ciudad. Las alturas de los edificios establecidas fueron de 5, 10 y 15 pisos, lo cuales comercialmente son muy repetitivos en el medio colombiano. Una vez se hizo la predimensión teniendo en cuenta un proceso de optimización estructural en el que las derivas estuvieran cercanas al 1% valor máximo permitido por el NSR-10 en todos los edificios y utilizando para todos los edificios y elementos, concretos con resistencia a la compresión f^c de 35 MPa, el cual es límite superior permitido tanto en el ACI-318 como en el NSR-10, se hizo el diseño de todos los elementos estructurales principales (columnas, muros, vigas y cimentación) siguiendo los lineamientos del NSR-10 y se determinaron las cuantías de acero y concreto para cada uno de los elementos estructurales que conforman los edificios para

finalmente hacer la comparación y determinar en cuales casos es mejor utilizar el concreto liviano. Para cada uno de los casos se tomó el tiempo de predimensión, análisis estructural, diseño y detallado conforme al que se invertiría en una oficina de consultoría estructural, e incluso los despieces de los elementos se optimizaron para lograr procesos constructivos más eficientes y ahorro de materiales. De acuerdo con lo obtenido se puede concluir que el uso de concreto liviano presenta mayores ahorros en concreto y acero en los edificios de mayor altura, sobretodo en el caso específico del de 15 pisos en este estudio, encontrando aún mayores ahorros cuando la edificación se encuentra cimentada sobre un suelo con características tales como: Un suelo rígido que cumpla con el criterio de velocidad de la onda de cortante vs entre 180 y 359 m/s o perfiles de suelo rígido que cumplan cualquiera de estas condiciones: Numero de golpes del ensayo de penetración estándar N, entre 15 y 49 ó que la resistencia media al corte su, entre 50 y 99 kPa. (Bueno Quintero, 2015)

2.4.9 Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canteras localizadas en el sur de la sabana de Bogotá. La obtención de concretos livianos estructurales compuestos por agregados livianos de tipo arcilla expandida térmicamente, cuyo material se extrajo de canteras de arcillas del Sur de la Sabana de Bogotá. Para obtener el agregado liviano, se realizó un estudio de capacidad de expansión térmica de forma natural, sin adición de agentes expansores, a muestras de arcilla de los sectores de Mochuelos, San Cristóbal y Soacha. Este estudio se caracterizó por someter a las arcillas a procedimientos de quema rápida a 1150°C, 1200°C y 1300°C y a un procedimiento de quema lenta a 1300°C. Los resultados de las pruebas de expansión, determinaron que la muestra de arcilla de referencia 13.3, localizada en una cantera del municipio de Soacha, presentó la mayor expansión de manera natural a una temperatura de 1300°C por el procedimiento de quema rápida, por lo que con este material se realizó el agregado liviano del sur de la Sabana de

Bogotá (ALISUR). Igualmente, se procedió a realizar una mezcla patrón de concreto liviano con una arcilla expandida térmicamente de uso comercial, con el objeto de comparar este concreto liviano, utilizado en la construcción, con el concreto liviano hecho con ALISUR. El agregado liviano comercial correspondió un agregado liviano de manufactura venezolana, ALIVEN, del cual se importaron 11 sacos de este material. Tanto al ALIVEN como al ALISUR, se les realizaron los ensayos de caracterización de los agregados requeridos para efectuar los diseños de mezcla de hormigón.

En el caso de los concretos livianos fabricados con ALIVEN, se estudiaron mezclas de concreto con relaciones a/mc de 0.67, 0.59, 0.55 y 0.52, obteniendo resistencias a la compresión entre 19.3 MPa y 25.2 MPa. Para los Concretos Livianos con ALISUR, se estudiaron hormigones con relación a/mc de 0.77 y 0.72, obteniendo resistencias a la compresión de 29 MPa y 37 MPa, respectivamente. Adicionalmente, para ambos tipos de concreto se estudiaron las propiedades referentes a: resistencia a la tensión, durabilidad, masa unitaria, módulo de elasticidad y relación de Poisson. (Martínez Pineda, 2010)

[2.4.10 Propiedades físicas y durabilidad de morteros aligerados con arcilla expandida y agregados con áridos reciclados.](#) La utilización masiva de los recursos naturales por el hombre para su provecho ha sido una constante a través de los tiempos, colaborando de manera inconsciente en la degradación del entorno y en el progresivo deterioro del medio ambiente.

La generación de residuos de construcción y demolición (RCDs) va estrechamente ligada a la actividad constructiva, una parte importante de estos residuos son depositados en vertederos, provocando un impacto visual y paisajístico, además de un impacto ecológico

negativo, al rechazarse materiales que, con un adecuado tratamiento, podrían ser reciclados. Este problema se ve agravado desde el 2008 con la crisis financiera, ya que más del 50% de los escombros producidos, incluso algunos potencialmente peligrosos, acaban en vertederos ilegales. Por lo tanto, es necesario una correcta gestión de los residuos para conseguir reducir en lo posible las cantidades generadas, y aprovechar el potencial que tiene estos recursos.

Uno de los más extendidos RCDs es la utilización para la producción de áridos reciclados en sustitución del árido natural. Estos áridos reciclados pueden clasificarse según su tamaño en dos tipos: aquellos cuyo tamaño de grano no excede los 4 mm, y los que tiene tamaño de grano mínimo mayor de 4 mm. El estudio de la utilización de áridos reciclados se ha orientado al uso de los áridos gruesos, encontrando aplicaciones en la fabricación de hormigones estructurales, y eliminando los áridos finos. (Muñoz Ruiperez, 2015)

Se trata de encontrar una aplicación para esta fracción fina fabricando morteros ligeros con diferentes tipos de áridos reciclados. Desarrollando un proceso experimental para el diseño de morteros ligeros, fabricados con áridos reciclados finos procedentes de escombros de hormigón y mixto.

Previamente se caracterizaron los diferentes materiales utilizados en las mezclas, con el objetivo de conocer las referencias de partida, tanto para el estudio de las propiedades mecánicas de los morteros diseñados como de su comportamiento a la durabilidad frente a los agentes agresivos externos. (Muñoz Ruiperez, 2015)

En primer lugar, se diseñó un mortero convencional denominado mortero base (MB), el cual fue aligerado con áridos de arcilla expandida en diferentes porcentajes, y mezclas daño

lugar al mortero de referencia (MR) para, posteriormente, sustituir el árido natural del mortero de referencia por árido reciclado de hormigón (ARH) y mixto (ARM) originados de mortero de diseño. (Muñoz Ruiperez, 2015)

Se han realizado ensayos para comparar las propiedades de los “*morteros base*” de los “*morteros ligeros convencional*” realizados con áridos naturales, y de los “*morteros de diseño*” reciclados con áridos reciclados con el fin de evaluar las variaciones que presentan los “*morteros de diseño*” respecto a los “*morteros base*” y de los “*morteros de referencia*”.

Se han elevado los efectos del aligeramiento y la utilización de áridos reciclados en la durabilidad de morteros así diseñados, analizando la capilaridad, la resistencia frente a atmosferas agresivas, resistencia a los ciclos de humedad sequedad y resistencia a los ciclos de hielo-deshielo. El estudio confirma la viabilidad de la elaboración de morteros aligerados con arcillas expandidas y con áridos reciclados.

Se diseña una prueba industrial que permita utilizar los materiales ensayados y conocer su comportamiento en situación real de prestación y determinar su viabilidad comercial.

Determinar la aptitud de los morteros descritos para formar parte de forjados diseños, se procede a evaluar su viabilidad de utilización mediante un estudio económico. (Muñoz Ruiperez, 2015)

2.5 Marco legal.

Dentro del desarrollo de la investigación serán realizados diferentes ensayos de laboratorio que permitirán conocer las propiedades de la muestra a utilizar, esto con el fin de determinar el grado de expansividad requerido. Cada ensayo realizado estará sujeto a su

respectiva norma mencionada a continuación: INV E-125-07, INV E-126-07, INV E-127-07, INV E-120-07, INV E-132-07.

2.5.1 Norma: (INV E-125-07). Determinación del límite líquido de los suelos.

Los objetivos de esta norma son los siguientes:

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

Para los fines de esta especificación, cualquier valor observado o calculado deberá aproximarse a la “unidad más cercana”.

Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es de responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicación de limitaciones regulatorias con anterioridad a su uso.

2.5.2 Norma: (INV E-126-07). Límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Los objetivos de esta norma son los siguientes:

El límite plástico o de un suelo es el contenido más bajo de agua, determinado por este procedimiento, en el cual el suelo permanece en estado plástico. El índice de plasticidad de un suelo es el tamaño del intervalo de contenido de agua, expresado como un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el material está en un estado plástico. Este índice corresponde a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

Un valor observado o calculado de un límite de un suelo debe redondearse a la “unidad más cercana”.

El método de moldeo manual de rollos de suelo debe ser dado por el procedimiento normativo indicado en esta norma. Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la cual pueden formarse rollos de suelo de unos 3mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa, sin que dichos rollos se desmoronen.

2.5.3 Norma: (INV E-127-07). Determinación de los factores de contracción de los suelos.

Los objetivos de esta norma son los siguientes:

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se pueden calcular las siguientes constantes de los suelos: a) Límite de contracción, b) relación de contracción, c) cambio de volumen, d) contracción lineal.

Lo siguiente se aplica a todos los límites especificados en esta norma: Con el propósito de determinar la conformidad con estas especificaciones, un valor observado o un valor calculado debe ser redondeado “a la unidad más cercana”.

Los valores expresados en unidades SI deben considerarse como los normativos.

Uso y significado. Los factores de contracción cubiertos por este método de ensayo se pueden determinar únicamente en suelos básicamente finos (cohesivos), que presenten resistencia cuando se secan al aire.

Se supone normalmente que el término límite de contracción en porcentaje, expresado como un contenido de agua, representa la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos de un suelo cohesivo dado, cuando se halle en su relación de vacíos más baja, obtenido ese valor por secado (generalmente en el horno). Así, el concepto del límite de contracción se puede emplear para evaluar el potencial de contracción, es decir, la posibilidad que se desarrollen grietas en obras que incluyen suelos cohesivos.

[2.5.4 Norma: \(INV E-120-07\).](#) Determinación del potencial de expansividad de un suelo en el aparato de lambe.

Los objetivos de la norma son los siguientes:

Esta norma describe un método para la identificación rápida de suelos que puedan presentar problemas de expansión, es decir de cambio de volumen, como consecuencia de variaciones en su contenido de humedad.

Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicabilidad de limitaciones regulatorias, con anterioridad a su uso.

Resumen del método.

El método consiste en valorar la expansión que experimenta una probeta de suelo compactado, en unas condiciones de humedad establecidas, utilizando el expansómetro de Lambe. A estos efectos, el cambio de volumen potencial de un suelo queda comprendido dentro de uno de los cuatro grupos siguientes: No crítico, marginal, crítico, muy crítico.

2.5.5 Norma: (INV E-132-07). Determinación de suelos expansivos.

Los objetivos son los siguientes:

Esta norma se refiere a un método para determinar si un suelo es potencialmente expansivo, así como a los métodos para predecir la magnitud del hinchamiento que se pueda producir.

Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es de responsabilidad de quien la emplee, el establecimiento de prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y la aplicabilidad de limitaciones regulatorias, con anterioridad a su uso.

Por otro lado, los ensayos de los morteros regirán basados en la Norma Sismo Resistente (NSR-10), del título D. Cada ensayo realizado estará sujeto a su respectiva norma mencionada a continuación: NTC 3329 (ASTM C270), NTC 4045 (ASTM C330), NTC 3459, NTC 2240 (ASTM C144), NTC 321, NTC 220

2.5.6 Norma: NTC 3329 (ASTM C270). Mortero para mampostería.

Los objetivos de la norma son los siguientes:

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir los morteros empleados en la construcción de estructuras de mampostería reforzada y no reforzada.

Esta norma tiene en cuenta cuatro tipos de morteros para cada una de las siguientes alternativas:

1. Especificaciones por proporción.
2. Especificaciones por propiedades.

Las especificaciones por proporción y por propiedades, deben regirse como se especifica.

Cuando no se especifican proporciones ni propiedades deben prevalecer las especificaciones por proporción, excepto cuando se presenten y se acepten resultados de ensayos que indiquen el cumplimiento del mortero con las especificaciones por propiedades.

[2.5.7 Norma: NTC 111.](#) Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico.

Los objetivos de la norma son los siguientes:

Esta norma especifica los requisitos que debe tener la mesa de flujo y establece el método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico.

Los valores se deben regir de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. NTC 1000 (ISO1000).

[2.5.8 Norma: NTC 77 \(ASTM C136\).](#) Método de ensayo tamizado de los gruesos para el análisis por agregados finos y gruesos.

Los objetivos de la norma son los siguientes:

Esta norma abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado.

Algunas especificaciones que se referencian en esta norma contienen requisitos de gradación que abarcan tanto la fracción gruesa como la fina. Se incluyen por tanto las instrucciones para el análisis por tamizado de estos agregados.

Los valores se deben registrar de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. NTC 1000 (ISO1000). Las especificaciones NTC 32 (ASTM E11) designan el tamaño de los tamices en pulgadas como una norma, pero en este método de ensayo el tamaño del marco designado en el sistema internacional de unidades es exactamente equivalente a las unidades en pulgadas.

Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud, y determinar la aplicabilidad de las regulaciones primordiales por usar.

[2.5.9 Norma: NTC 237](#). Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.

Los objetivos de la norma son los siguientes:

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad aparente y nominal, a una condición de temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y la absorción del agregado fino.

Este método de ensayo determina (después de 24 h en agua) la densidad aparente, la densidad nominal y la absorción según se define en la NTC 385 Terminología del cemento y concreto.

Los valores se deben registrar de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. NTC 1000” Metrología”.

Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas de seguridad y salud.

Significado y uso:

La densidad es la masa por unidad de volumen. Los calificativos nominal o aparente, se refieren a la forma de tomar el volumen del cuerpo, puesto que las partículas de los agregados para el concreto tienen porosidad; esa porosidad puede ser saturable o no saturable. Si se toma el volumen externo, el aparente, la densidad calculada será aparente; si del aparente se elimina la porosidad saturable, la densidad se llama nominal, y además de la porosidad saturable se elimina la porosidad no saturable, el volumen resultante es de material puro, y por lo tanto el cociente de la masa y ese volumen será la masa, sin calificativos.

[2.5.10 Norma: NTC 92 \(ASTM C29\).](#) Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.

Los objetivos de la norma son los siguientes: Esta norma determina la masa unitaria en condición compactada o suelta y el cálculo de los vacíos entre las partículas de los agregados

finos, gruesos o mezclados. Esta norma se aplica a agregados que no exceden los 150 mm de tamaño máximo nominal.

Los valores se deben registrar de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades. NTC 1000” Metrología”.

Esta norma no pretende señalar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer las prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

Significado y uso:

Esta norma se usa para determinar los valores de la masa unitaria necesarios para la selección de las proporciones de los agregados en las mezclas de concreto.

La masa unitaria puede ser usada también para las determinaciones de las relaciones masa/volumen para los acuerdos de compra. Sin embargo, se desconoce la relación entre el grado de compactación de los agregados en una unidad de acarreo o en una pila de almacenaje y el determinado por este método. Así mismo, los agregados en las unidades de acarreo o en las pilas de almacenaje usualmente contienen humedad absorbida y superficial (esta última afecta el análisis volumétrico), mientras que la norma determinara la masa unitaria con base en los agregados secos.

Se incluye un procedimiento para el cálculo del porcentaje de vacíos entre las partículas de agregados, basado en la masa unitaria determinada en esta norma.

2.5.11 Norma: NTC 220. Determinación de la resistencia de morteros de cemento hidráulico usando de 50 mm o 50.8 mm de lado.

Los objetivos de la norma son los siguientes:

Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico utilizando cubos de 50 mm ó 50,8 mm de lado.

Los valores se deben registrar de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades NTC 1000 (ISO 1000).

Esta norma puede incluir materiales, maniobras y equipos peligrosos, sin embargo, no implica referirse a los problemas de seguridad asociados con su empleo. Es responsabilidad del usuario constatar, antes de su utilización, las prácticas y condiciones tanto de seguridad como de sanidad, así como determinar su aplicación

Capítulo 3. Metodología de investigación.

3.1 Tipo de investigación.

El tipo de investigación es experimental: se ha ideado con el propósito de determinar, con la mayor confiabilidad posible, relaciones de causa efecto, para lo cual uno o más grupos, llamados experimentales, se exponen a los estímulos experimentales y los comportamientos resultantes se comparan con los comportamientos de ese u otros grupos, llamados de control, que no reciben el tratamiento o estímulo experimental. (Tamayo Tamayo)

Por consiguiente, el proyecto “DISEÑO DE MORTEROS LIVIANOS, UTILIZANDO ARCILLA MEDIANAMENTE EXPANSIVA DEL BARRIO HATILLO EN OCAÑA NORTE DE SANTANDER Y ARCILLA ALTAMENTE EXPANSIVA DEL SECTOR MOLINOS EL TRIGAL (VÍA MUNICIPIO ZULIA), EN CÚCUTA NORTE DE SANTANDER”, se ejecutará mediante el desarrollo de ensayos de laboratorios que arrojaran resultados, permitiendo su análisis y clasificación de forma científica para poder ser comparado con resultados de control.

3.2 Población.

La materia prima para el desarrollo del proyecto de investigación es la arcilla, la cual debe cumplir con los parámetros, para ser clasificada como mediana y altamente expansiva.

3.3 Muestra

Las arcillas medianamente expansivas se encontrarán en el Barrio Hatillo en Ocaña Norte de Santander. Y las arcillas altamente expansivas serán del sector molinos el trigal (vía municipio Zulia) en Cúcuta Norte de Santander.

3.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de información.

Dentro de las técnicas a utilizar para el desarrollo de la investigación se encuentran los ensayos de laboratorio, el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) y la norma técnica colombiana.

Como instrumentos para la recolección de información encontramos todos aquellos equipos utilizados para el desarrollo de cada ensayo de laboratorio: horno para el cálculo del contenido de humedad mediante el secado de las muestras a una temperatura de 105°C, balanza electrónica calibrada para el cálculo de pesos húmedos y secos; cazuela de Casagrande, ranurador y espátula para la realización del límite líquido, base de madera envuelta en periódico para evitar la adherencia de la muestra durante el laboratorio de límite plástico, tamices (10,40,4,8,16,30,50,100,200) para el tamizado de cada una de las muestras, taras para almacenamiento y transporte de la muestras, aparato de lambe para medir el grado de expansividad, martillo manual para la compactación de por capa de cada muestra para el ensayo de lambe, horno con capacidad de alcanzar temperaturas mayores a los 1000°C para el proceso de sinterización, molino de bolas para la disminución de la muestra sinterizada, probetas de 100 ml para el ensayo de expansión libre, probetas de base redonda para densidades aparentes, moldes para cubos para el ensayo de resistencia a la compresión, maquina universal.

3.5 Análisis de información.

Los datos obtenidos y reemplazados en las fórmulas utilizadas para el cálculo de los límites de Atterberg, lambe y expansión libre, permitirán la respetiva clasificación de cada una de las muestras evaluando su porcentaje de cambio volumétrico y propiedades del suelo mediante el sistema de clasificación AASHTO y SUCS.

Luego se procederá a elaborar el agregado fino mediante el proceso de sinterización de la arcilla expansiva a utilizar en cada una de las dosificaciones de morteros livianos, los cuales serán evaluados mediante el ensayo de resistencia a la compresión simple.

De igual modo se observará la rentabilidad de este tipo de morteros livianos teniendo en cuenta su proceso de producción frente a la del mortero convencional.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Objetivo 1. Analizar las propiedades de las arcillas mediante los laboratorios de límites de Atterberg, contenido de humedad, aparato de Lambe, expansión libre en probeta.

Durante el desarrollo de este objetivo se realizaron los siguientes laboratorios los cuales se aprecian en la tabla 1, determinando el grado de expansividad presente en cada una de las muestras utilizadas, así como también propiedades necesarias para la ejecución total de la investigación. La ampliación de cada uno de los laboratorios desarrollados se encontrará en el apéndice A.

Tabla 1.

Ensayos de laboratorio realizados a las arcillas expansivas.

Ensayo	Norma
Contenido de humedad	INV E-122-07
Límite líquido	INV E-125-07
Límite plástico	INV E-126-07
Límite de contracción	INV E-127-07
Presión de expansión de lambe	INV E-120-07
Expansión libre en probeta	INV E-132-07
Gravedad específica de los sólidos	INV E-128-07
Análisis granulométrico - Método del hidrometro	INV E-124-07

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.1.1 Contenido de humedad. Como punto de partida se determinó el contenido de humedad en las diferentes muestras, el cual indica el porcentaje del agua que contiene el suelo en su estado natural con respecto a su peso seco, presentes en la figura 5 y 6.



Figura 5. Determinación del contenido de humedad de la arcilla de Ocaña N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;"> Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles </div>			
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Localizacion	Cucuta, Trigo del norte		
Descripcion del suelo	Arcilla de alta plasticidad		
Realizado por	Autores del proyecto		
Fecha	04 de abril 2017		
Recipiente No.	51	91	99
Peso de recipiente + suelo humedo	152.50	148.91	149.75
Peso de recipiente + suelo seco	140.38	135.90	137.13
Peso de recipiente	78.68	70.4	72.61
Peso de suelo seco	61.7	65.5	64.52
Peso de agua	12.12	13.01	12.62
Contenido de humedad %	19.64	19.86	19.56
Humedad promedio %	19.69		
Observaciones: Ninguna			

Figura 6. Determinación del contenido de humedad de la arcilla de Cúcuta N.S.
 Nota fuente. Autores del proyecto.

En el resultado obtenido se observó que la humedad presente en la muestra de Ocaña es mayor a la de Cúcuta, ya que la parte de suelo seco obtenido en la muestra de Cúcuta es mayor con respecto al peso del agua contenida en la misma, esto debido a aspectos que obedecen al día de la extracción de cada una de las muestras y el clima presente en las diferentes zonas.

4.1.2 Límites de Atterberg. Este ensayo permitió conocer los diferentes estados intermedios presentes en el suelo variando su contenido de humedad, pasando de un estado sólido a semisólido o plástico, hasta llegar al punto de comportarse similar a un líquido. Los resultados se podrán apreciar en las figuras 7 y 8.

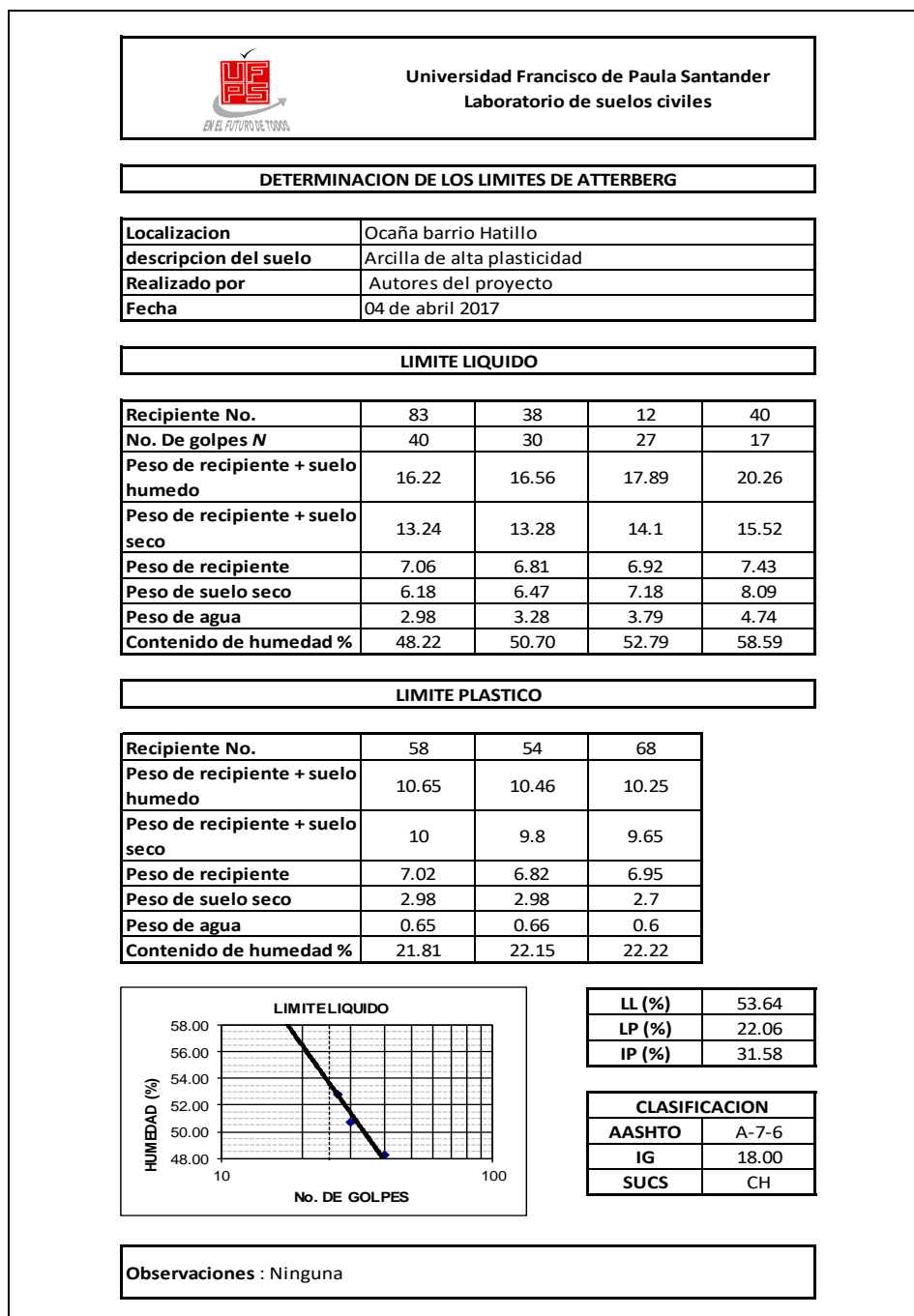


Figura 7. Determinación de los límites de Atterberg de la arcilla de Ocaña N.S. Nota fuente. Autores del proyecto.

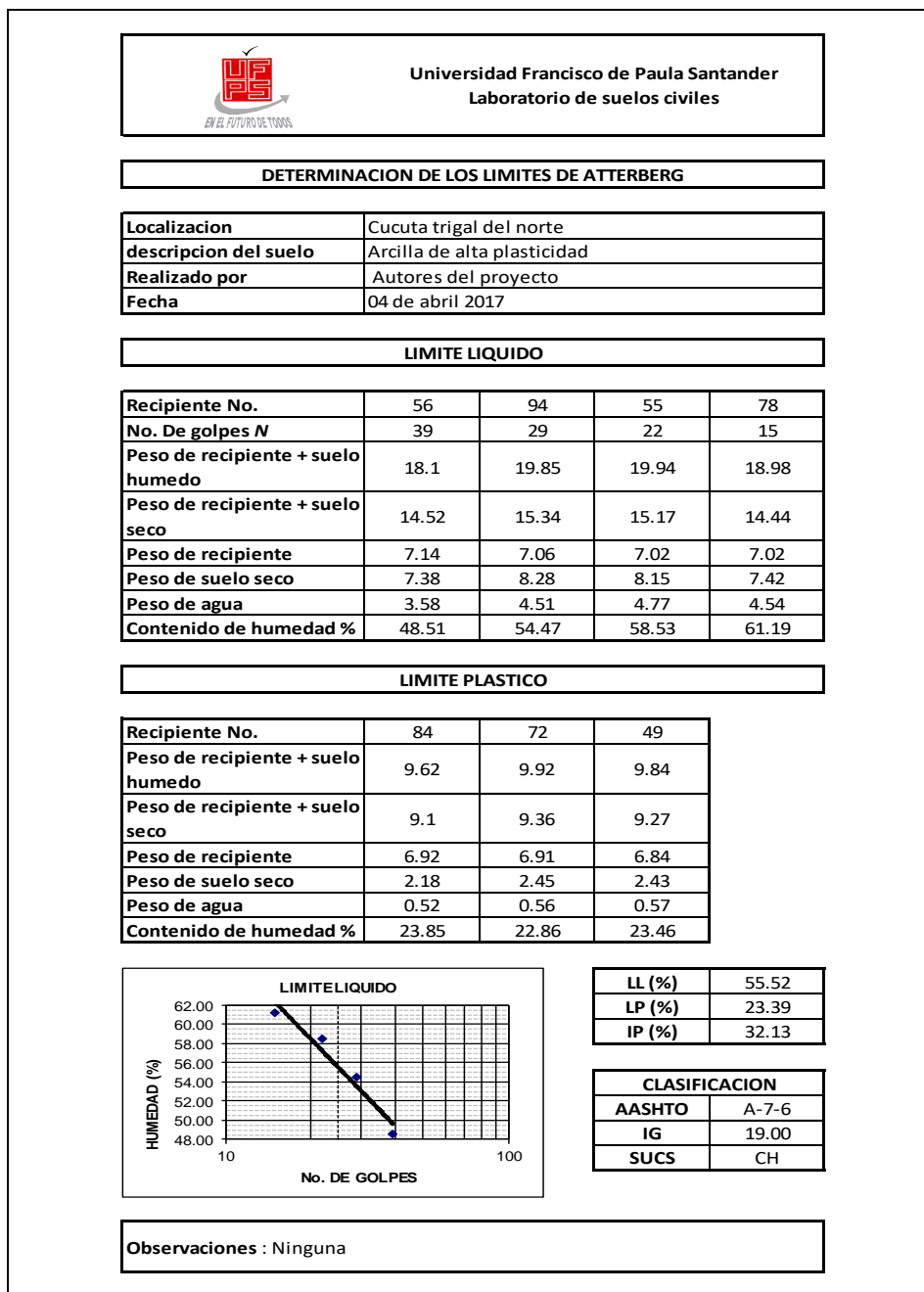


Figura 8. Determinación de los límites de Atterberg de la arcilla de Cúcuta N.S.
 Nota fuente. Autores del proyecto.

Como se aprecia en la tabla 2 ambas muestras presentan un límite líquido, plástico e índice de plasticidad similar.

Tabla 2.
Límites de Atterberg.

Muestra	Ocaña	Cúcuta
LL %	53.64	55.52
LP %	22.06	23.39
IP %	31.58	32.13

Nota fuente. Autores del proyecto.

Partiendo de esta información, se procede hacer la respectiva clasificación para cada una de las muestras, según los sistemas AASHTO y SUCS (Ver figura 9 y 10).

Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Clasificación de grupo				
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Tasa general de los sobrantes	De mediano a pobre			
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$				

Figura 9. Clasificación de suelos. AASHTO.

Nota fuente. Libro (Fundamentos de ingeniería geotécnica).

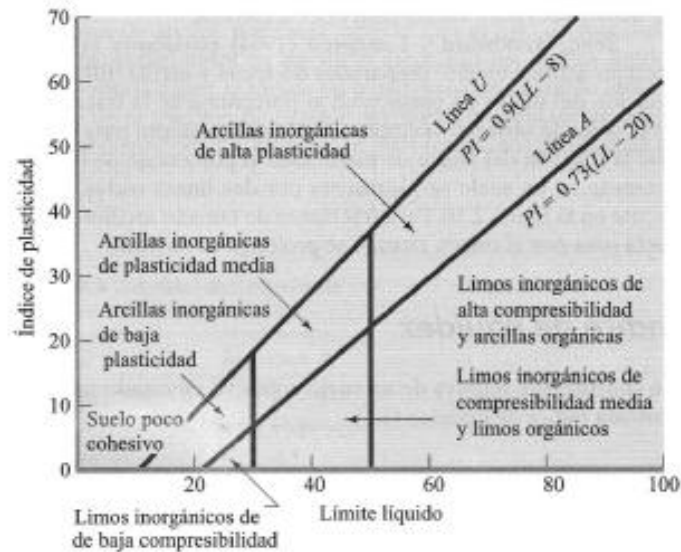


Figura 10. Carta de plasticidad para la clasificación unificada de suelos.

Nota fuente. Libro (Fundamentos de ingeniería geotécnica).

Teniendo en cuenta los sistemas cada una de las muestras se clasifican como un suelo A-7-6 y CH respectivamente, presentando una descripción de suelos arcillosos de alta plasticidad, esto debido a su alto porcentaje de límite líquido e índice de plasticidad.

[4.1.3 Limite de contracción.](#) Obtener el contenido de humedad por debajo del cual no se presenta cambio adicional en el volumen de una masa de suelo y obtener una indicación cuantitativa del cambio total que puede ocurrir. (Bowles, 1961). Los resultados se podrán apreciar en las figuras 11 y 12.



	Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles																										
DETERMINACION DEL LIMITE DE CONTRACCION																											
Localizacion	Ocaña barrio Hatillo																										
descripcion del suelo	Arcilla de alta plasticidad																										
Realizado por	Autores del proyecto																										
Fecha	07 de abril 2017																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 40%;">Recipiente No.</td> <td style="text-align: center;">8</td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente + suelo humedo (g)</td> <td style="text-align: center;">44.74</td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente + suelo seco (g)</td> <td style="text-align: center;">35.33</td> </tr> <tr> <td>Peso de recipiente (g)</td> <td style="text-align: center;">19.41</td> </tr> <tr> <td>Peso de suelo seco (g)</td> <td style="text-align: center;">15.92</td> </tr> <tr> <td>Peso de agua (g)</td> <td style="text-align: center;">9.41</td> </tr> <tr> <td>Contenido de humedad %</td> <td style="text-align: center;">59.11</td> </tr> <tr> <td>Vol. Suelo humedo V_o (cm³)</td> <td style="text-align: center;">15.75</td> </tr> <tr> <td>Vol. Suelo seco V_f (cm³)</td> <td style="text-align: center;">9.13</td> </tr> <tr> <td>Mercurio total (g)</td> <td style="text-align: center;">232.55</td> </tr> <tr> <td>Mercurio final (g)</td> <td style="text-align: center;">142.97</td> </tr> <tr> <td>Limite de contraccion (%)</td> <td style="text-align: center;">17.52</td> </tr> <tr> <td>Relacion de contraccion</td> <td style="text-align: center;">1.74</td> </tr> </table>		Recipiente No.	8	Peso de recipiente + suelo humedo (g)	44.74	Peso de recipiente + suelo seco (g)	35.33	Peso de recipiente (g)	19.41	Peso de suelo seco (g)	15.92	Peso de agua (g)	9.41	Contenido de humedad %	59.11	Vol. Suelo humedo V_o (cm³)	15.75	Vol. Suelo seco V_f (cm³)	9.13	Mercurio total (g)	232.55	Mercurio final (g)	142.97	Limite de contraccion (%)	17.52	Relacion de contraccion	1.74
Recipiente No.	8																										
Peso de recipiente + suelo humedo (g)	44.74																										
Peso de recipiente + suelo seco (g)	35.33																										
Peso de recipiente (g)	19.41																										
Peso de suelo seco (g)	15.92																										
Peso de agua (g)	9.41																										
Contenido de humedad %	59.11																										
Vol. Suelo humedo V_o (cm³)	15.75																										
Vol. Suelo seco V_f (cm³)	9.13																										
Mercurio total (g)	232.55																										
Mercurio final (g)	142.97																										
Limite de contraccion (%)	17.52																										
Relacion de contraccion	1.74																										
Observaciones : Ninguna																											

Figura 11. Determinación del límite de contracción de la arcilla de Ocaña N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

	Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles
DETERMINACION DEL LIMITE DE CONTRACCION	
Localizacion	Cucuta trigal del norte
Descripcion del suelo	Arcilla de alta plasticidad
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	07 de abril 2017

Recipiente No.	7
Peso de recipiente + suelo humedo (g)	48.88
Peso de recipiente + suelo seco (g)	36.88
Peso de recipiente (g)	20.42
Peso de suelo seco (g)	16.46
Peso de agua (g)	12
Contenido de humedad %	72.90
Vol. Suelo humedo V_o (cm³)	15.89
Vol. Suelo seco V_f (cm³)	8.44
Mercurio total (g)	235.40
Mercurio final (g)	134.66
Limite de contraccion (%)	27.67
Relacion de contraccion	1.95

Observaciones : Ninguna

Figura 12. Determinación del límite de contracción de la arcilla de Cúcuta N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

Los resultados obtenidos permitieron apreciar que la muestra de arcilla expansiva del barrio hatillo presenta menor cambio volumétrico en su estructura con respecto a la tomada de Cúcuta Norte de Santander, sin embargo, ambas demuestran un límite de contracción alto con respecto a la norma en cuanto a la clasificación de las arcillas expansivas.

4.1.4 Ensayo presión de expansión de lambe. El ensayo determino el potencial de cambio volumétrico y la condición que presentan cada una de las muestras, permitiendo así la clasificación de mediana y altamente expansiva. Presentes en las figuras 13 y 14.



 <p>Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles</p>																																		
ENSAYO PRESION DE EXPANSION DE LAMBE																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Localizacion</td> <td>Ocaña barrio el Hatillo</td> </tr> <tr> <td>descripcion del suelo</td> <td>Arcilla de alta plasticidad</td> </tr> <tr> <td>Realizado por</td> <td>Autores del proyecto</td> </tr> <tr> <td>Fecha</td> <td>05 de abril 2017</td> </tr> </table>	Localizacion	Ocaña barrio el Hatillo	descripcion del suelo	Arcilla de alta plasticidad	Realizado por	Autores del proyecto	Fecha	05 de abril 2017																										
Localizacion	Ocaña barrio el Hatillo																																	
descripcion del suelo	Arcilla de alta plasticidad																																	
Realizado por	Autores del proyecto																																	
Fecha	05 de abril 2017																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Muestra</td> <td>Ocaña</td> </tr> <tr> <td>Diametro mmuestra (cm)</td> <td>6.96</td> </tr> <tr> <td>Altura muestra (cm)</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Area (cm2)</td> <td>38.05</td> </tr> <tr> <td>Volumen (cm3)</td> <td>82.56</td> </tr> <tr> <td>Peso mmuestra+ molde (g)</td> <td>805</td> </tr> <tr> <td>Peso molde (g)</td> <td>650.07</td> </tr> <tr> <td>Peso muestra (g)</td> <td>154.93</td> </tr> <tr> <td>Peso unitario humedo (GR/CM3)</td> <td>1.88</td> </tr> <tr> <td>Humedad (%)</td> <td>26.22</td> </tr> <tr> <td>Peso unitario seco (GR/CM3)</td> <td>1.49</td> </tr> <tr> <td>Lectura inicial dial 0.01 mm</td> <td>1.2</td> </tr> <tr> <td>Lectura final dial 0.01 mm</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>Kte anillo de carga (Kg/div)</td> <td>1.73</td> </tr> <tr> <td>Carga (Kg)</td> <td>16.95</td> </tr> <tr> <td>Indice de expansividad (Mpas)</td> <td>0.04</td> </tr> <tr> <td>Cambio potencial de volumen</td> <td>NO CRITIO</td> </tr> </table>	Muestra	Ocaña	Diametro mmuestra (cm)	6.96	Altura muestra (cm)	2.17	Area (cm2)	38.05	Volumen (cm3)	82.56	Peso mmuestra+ molde (g)	805	Peso molde (g)	650.07	Peso muestra (g)	154.93	Peso unitario humedo (GR/CM3)	1.88	Humedad (%)	26.22	Peso unitario seco (GR/CM3)	1.49	Lectura inicial dial 0.01 mm	1.2	Lectura final dial 0.01 mm	11	Kte anillo de carga (Kg/div)	1.73	Carga (Kg)	16.95	Indice de expansividad (Mpas)	0.04	Cambio potencial de volumen	NO CRITIO
Muestra	Ocaña																																	
Diametro mmuestra (cm)	6.96																																	
Altura muestra (cm)	2.17																																	
Area (cm2)	38.05																																	
Volumen (cm3)	82.56																																	
Peso mmuestra+ molde (g)	805																																	
Peso molde (g)	650.07																																	
Peso muestra (g)	154.93																																	
Peso unitario humedo (GR/CM3)	1.88																																	
Humedad (%)	26.22																																	
Peso unitario seco (GR/CM3)	1.49																																	
Lectura inicial dial 0.01 mm	1.2																																	
Lectura final dial 0.01 mm	11																																	
Kte anillo de carga (Kg/div)	1.73																																	
Carga (Kg)	16.95																																	
Indice de expansividad (Mpas)	0.04																																	
Cambio potencial de volumen	NO CRITIO																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Observaciones: ninguna</td> </tr> </table>	Observaciones: ninguna																																	
Observaciones: ninguna																																		

Figura 13. Ensayo presión de expansión de lambe de la arcilla de Ocaña N.S
Nota fuente. Autores del proyecto.

	Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles
ENSAYO PRESION DE EXPANSION DE LAMBE	
Localizacion	Cucuta trigal del norte
descripcion del suelo	Arcilla de alta plasticidad
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	06 de abril 2017

Muestra	Cucuta
Diametro muestra (cm)	6.96
Altura muestra (cm)	2.17
Area (cm²)	38.05
Volumen (cm³)	82.56
Peso muestra+ Molde (g)	807
Peso molde (g)	650.07
Peso muestra (g)	156.93
Peso unitario humedo (g/cm³)	1.90
Humedad (%)	25.15
Peso unitario seco (GR/CM³)	1.52
Lectura inicial dial L 0.01 mm	1.2
Lectura final dial L 0.01 mm	26
Kte anillo carga (Kg/div)	1.73
Carcga (Kg)	42.90
Indice de expansividad (Mpas)	0.11
Cambio potencial de volumen	MARGINAL

Observaciones: ninguna

Figura 14. Ensayo presión de expansión de lambe de la arcilla de Cúcuta N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

Para obtener el potencial de cambio volumétrico y condición del suelo se empleó la curva para determinar el %PVC de expansión como se muestra en la figura 15 y la tabla 3.

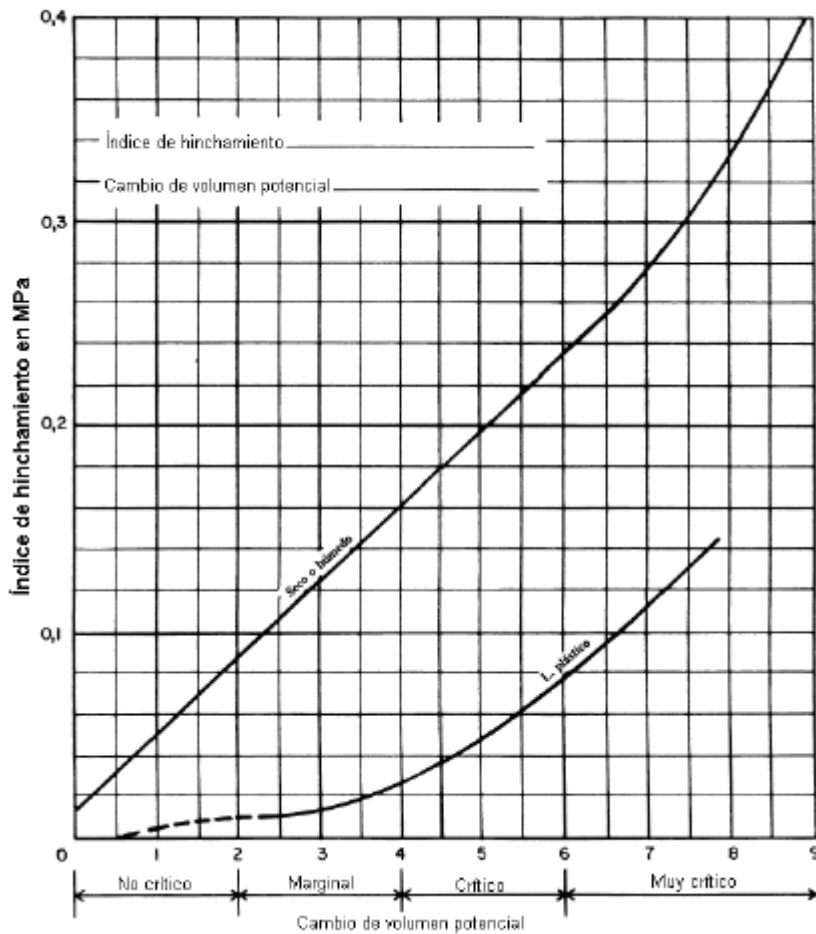


Figura 15. Curva para determinar el %PVC de expansión.
Nota fuente. Norma INV E- 132-07.

Tabla 3.
Clasificación del suelo según el PCV.

PCV	Condición para el suelo
<2	No crítico
2-4	Marginal
4-6	Crítica
>6	Muy crítica

Nota fuente. Norma INV E- 132-07.

En la tabla 4 se describen los datos correspondientes del ensayo de lambe, realizado a las dos muestras de arcilla.

Tabla 4.
Potencial de cambio volumétrico según Lambe

Muestra	Ocaña	Cúcuta
% PCV	0,7	2,6
Condición del suelo	No critico	Marginal

Nota fuente. Autores del proyecto.

Con los resultados obtenidos se comprobó que el suelo tomado de Ocaña para el análisis, presenta una expansividad mediana y es clasificado como un suelo no critico que puede ser controlado, por el contrario, el suelo de la ciudad de Cúcuta presenta una alta expansividad y es clasificado como un suelo marginal, siendo este no apto para el desarrollo de cualquier tipo de obra de ingeniería.

[4.1.5 Ensayo de expansión libre en probeta.](#) Mediante el ensayo se permitió conocer el porcentaje de la expansión del suelo sumergido en agua, sin ser sometido a ningún tipo de carga, los resultados obtenidos están presentes en las figuras 16 y 17.


	Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE EN PROBETA	
Localizacion	Ocaña barrio Hatillo
Descripcion del suelo	Arcilla de alta plasticidad
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	07 de abril 2017
Vol. De agua (ml)	100
Vol. De A.C.P.M (ml)	100
Peso de la muestra (g)	13
Vol. Inicial	17
Vol: final	19
Expansion libe (%)	11.76
Observaciones : Ninguna	

Figura 16. Ensayo de expansión libre en probeta de la arcilla de Ocaña N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.


	Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles
ENSAYO DE EXPANSION LIBRE EN PROBETA	
Localizacion	Cucuta Trigal del Norte
Descripcion del suelo	Arcilla de alta plasticidad
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	07 de abril 2017
Vol. De agua (ml)	100
Vol. De A.C.P.M (ml)	100
Peso de la muestra (g)	13
Vol. Inicial (ml)	14
Vol: final (ml)	23
Expansion libe (%)	64.29
Observaciones : Ninguna	

Figura 17. Ensayo de expansión libre en probeta de la arcilla de Cúcuta N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

Los resultados obtenidos demuestran que la expansión libre presente en la muestra de Cúcuta es mucho mayor que la muestra de Ocaña, por lo tanto, se rectifica que la arcilla de

Cúcuta es altamente expansiva y la de Ocaña es medianamente expansiva. Debido que después del 50% de la expansión libre, es un suelo que tiene variaciones en su volumen.

4.1.6 Gravedad específica de los sólidos. La ejecución de este ensayo proporciono información necesaria en cuanto a las propiedades del suelo y el desarrollo del laboratorio del hidrómetro. Los datos obtenidos se presentan en la figura 18 y 19.

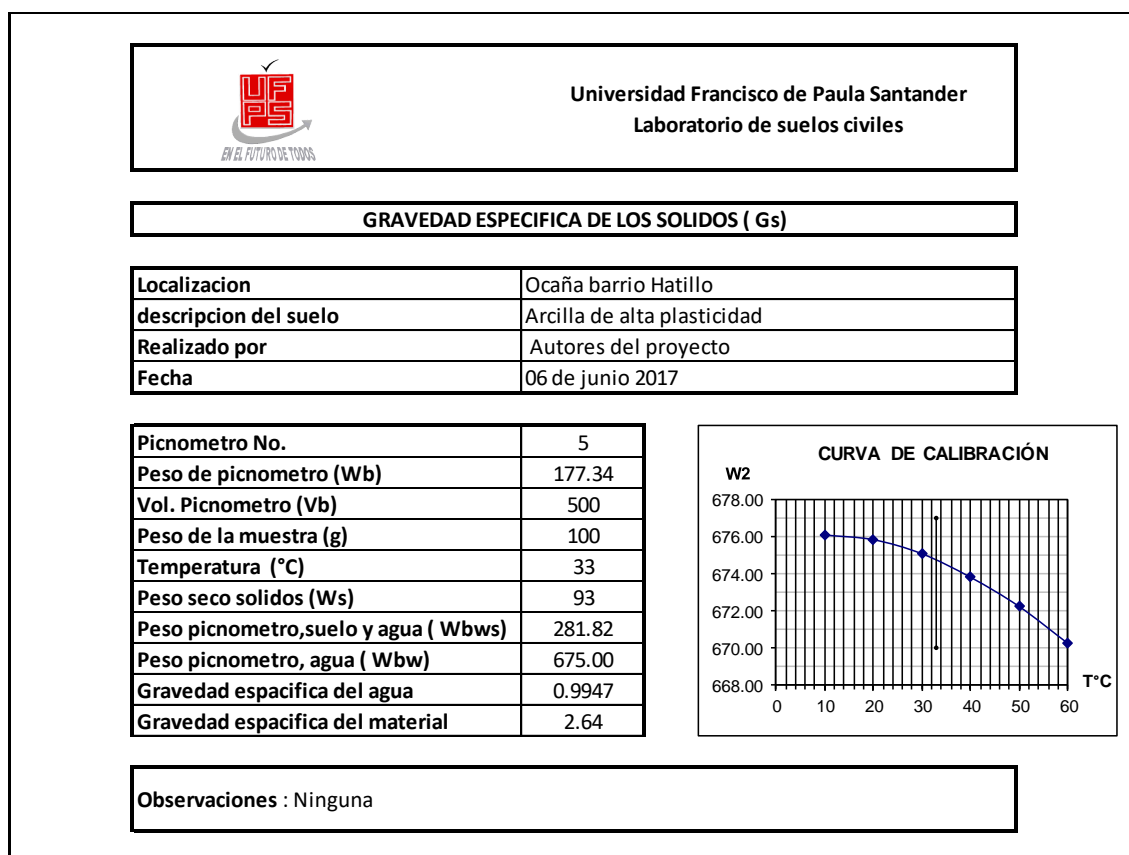


Figura 18. Gravedad específica de los sólidos para la arcilla de Ocaña N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

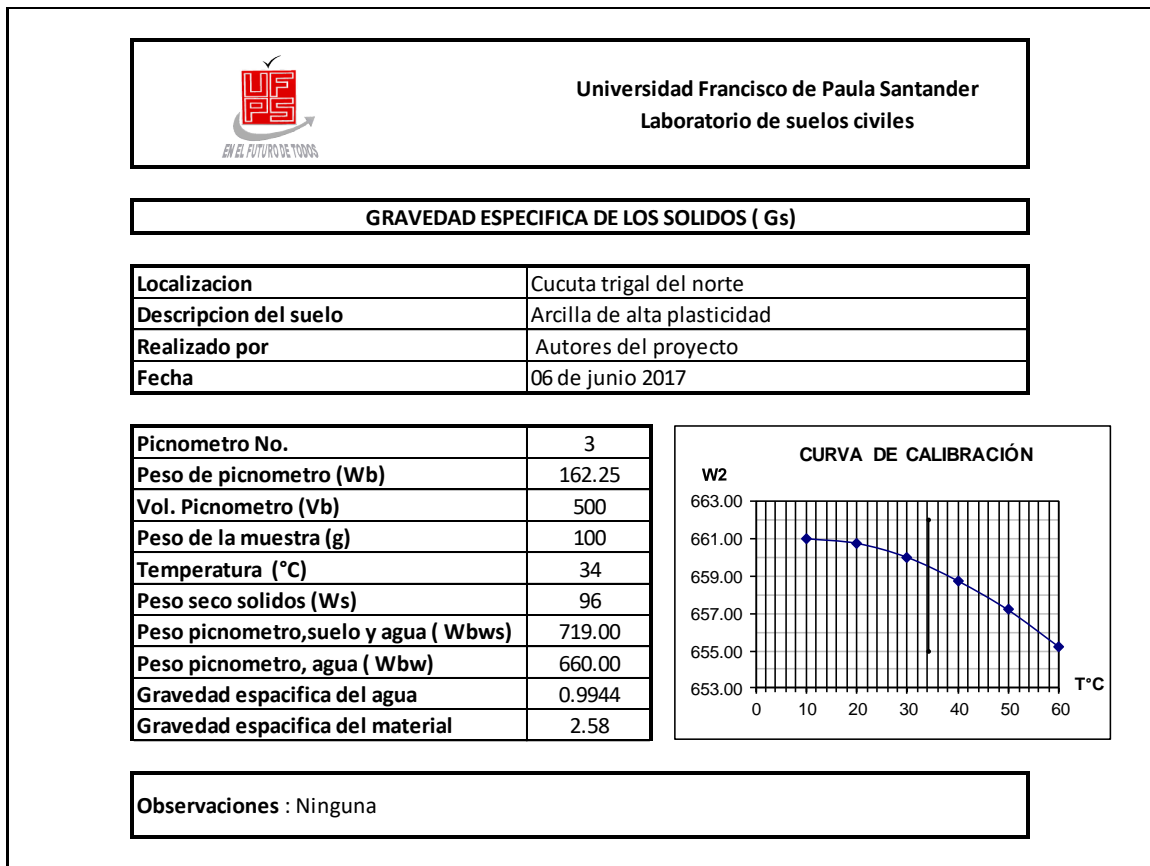



Figura 19. Gravedad específica de los sólidos en la arcilla de Cúcuta N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

Los resultados permitieron observar que, según la gravedad específica, la arcilla de Ocaña es un suelo inorgánico con ciertos contenidos de arena y limos; por el contrario, la arcilla de la ciudad de Cúcuta se denota como un suelo inorgánico en presencia de limos con trazos de materias.

[4.1.7 Análisis granulométrico - Método del hidrómetro.](#) Este ensayo se realizó con el propósito de conocer el porcentaje de partículas finas (limos y arcillas) que presentan las diferentes muestras involucradas en la investigación y serán presentados de forma más detallado en las figuras 20 y 21.

		Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña Laboratorio de suelos civiles	
ANALISIS GRANULOMETRICO- METODO DEL HIDROMETRO			
HIDROMETRO	152.H	Gs de los solidos	2.64
AGENTE DISPERSANTE	Hexametafosfato de sodio	Cantidad:	125.ml
CORRECCION DE CERO	5	Correccion de menisco	1
MUESTRA	Ocaña Barrio Hatillo		


FECHA	HORA LECTURA	TIEMPO MIN.	TEMP. °C	LECT. REAL HIDRO.	LECTURA RC.CORR.	% MAS FINO	HID. CORR. MENISCO	L. TABLA	L/T	K TABLA	D mm
Jun 7-17	8:46	0.3	31.1	47.0	46.60	93.20	48.0	8.40	28.000	0.0121	0.06403
		1		45.0	44.60	89.20	46.0	8.80	8.800	0.0121	0.03589
		2		44.0	43.60	87.20	45.0	8.90	4.450	0.0121	0.02552
		3		42.0	42.60	85.20	43.0	9.20	3.067	0.0121	0.02119
		4		41.0	41.60	83.20	42.0	9.40	2.350	0.0121	0.01855
		8		38.0	37.60	75.20	39.0	9.90	1.238	0.0121	0.01346
		16		35.0	34.60	69.20	36.0	10.40	0.650	0.0121	0.00976
	9:16	30		33.0	32.60	65.20	34.0	10.70	0.357	0.0121	0.00723
	9:46	60	31.1	29.0	28.60	57.20	30.0	11.40	0.190	0.0121	0.00527
	10:51	125		27.0	26.60	53.20	28.0	11.70	0.094	0.0121	0.00370
	14:00	330		24.0	23.60	47.20	25.0	12.20	0.037	0.0121	0.00233
Jun 8-17	17:36	529	31.6	23.0	23.10	46.20	24.0	12.40	0.023	0.0121	0.00184
	8:46	1432	30.6	22.0	21.20	42.40	23.0	12.50	0.009	0.02150	0.00201
	8:46	2850	30.6	22.0	21.20	42.40	23.0	12.50	0.004	0.02150	0.00142

RC= R real-correccion cero + ct	% mas fino= Rc*(a)/Ws	D=K √ L/T
--	------------------------------	------------------

PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA EL DIAMETRO DE 0.002: 46.52%
--

Observaciones: Ninguna

Figura 20. Análisis granulométrico- método del hidrómetro de la arcilla de Ocaña N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

		Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña Laboratorio de suelos civiles	
ANALISIS GRANULOMETRICO- METODO DEL HIDROMETRO			
HIDROMETRO 152.H		Gs de los solidos 2.6 a: 1.01	
AGENTE DISPERSANTE Hexametafosfato de sodio		Cantidad: 125.ml	Ws.: 50
CORRECCION DE CERO 5		Correccion de menisco 1	
MUESTRA Cucuta, el Trigal del norte			

FECHA	HORA LECTURA	TIEMPO	TEMP.	ECT. REA HIDRO.	LECTURA RC.CORR.	% MAS FINO	HID. CORR. MENISCO	L.	L/T	K TABLA	D mm
		MIN.						TABLA			
Jun 7-17	8:56	0.3	28	53.0	50.50	102.01	52.0	7.80	26.0000	0.0126	0.0642
		1		52.0	49.50	99.99	51.0	7.90	7.9000	0.0126	0.0354
		2		52.0	49.50	99.99	51.0	7.90	3.9500	0.0126	0.0250
		3		52.0	49.50	99.99	51.0	7.90	2.6333	0.0126	0.0204
		4		52.0	49.50	99.99	51.0	7.90	1.9750	0.0126	0.0177
		8		52.0	49.50	99.99	51.0	7.90	0.9875	0.0126	0.0125
		16		52.0	49.50	99.99	51.0	7.90	0.4938	0.0126	0.0089
	9:26	30		52.0	49.50	99.99	51.0	7.90	0.2633	0.0126	0.0065
	9:56	60	28	52.0	49.50	99.99	51.0	7.90	0.1317	0.0126	0.0046
	11:01	125		50.0	47.50	95.95	49.0	8.30	0.0664	0.0126	0.0032
	14:10	330		46.5	44.00	88.88	45.5	8.85	0.0268	0.0126	0.0021
Jun 8-17	17:46	529	31.5	44.0	43.60	88.07	43.0	9.20	0.0174	0.0124	0.0016
	8:56	1432	29.5	41.0	39.80	80.40	40.0	9.70	0.0068	0.01245	0.0010
	8:56	2850	31	36.0	34.80	70.30	37.0	10.20	0.0036	0.01235	0.0007

RC= R real-correccion cero + ct	% mas fino= Rc*(a)/Ws	D=K √ L/T
---------------------------------	-----------------------	-----------

PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA PARA EL DIAMETRO DE 0.002: 88.72%

Observaciones: Ninguna

Figura 21. Análisis granulométrico- método del hidrómetro de la arcilla de Cúcuta N.S
Nota fuente. Autores del proyecto.

Durante la ejecución del ensayo se logró evidenciar que la muestra tomada de Cúcuta posee una gran cantidad de partículas menores a 0.002 mm, por lo tanto, su tiempo de asentamiento fue mucho mayor que la muestra de Ocaña, la cual presenta mayor porcentaje de partículas superiores a 0.002mm.

4.2 Objetivo 2. Elaborar el agregado liviano mediante la sinterización de la arcilla.

Durante el desarrollo de este objetivo se llevaron a cabo diferentes actividades para la producción del agregado liviano, presentadas a continuación.

4.2.1 Actividades para la producción del agregado liviano. Para hacer el agregado fino se realizaron probetas en forma rectangular (Arcilla- materia orgánica-agua), de tal forma que se pudiese notar la diferencia de tamaños iniciales con respecto a la del material ya sinterizado, ver figura 22, permitiendo observar su grado de expansión. Luego de tener las probetas ya sinterizadas se procedió a su trituración para alcanzar el tamaño que se desea dentro de los parámetros requeridos para un agregado fino.

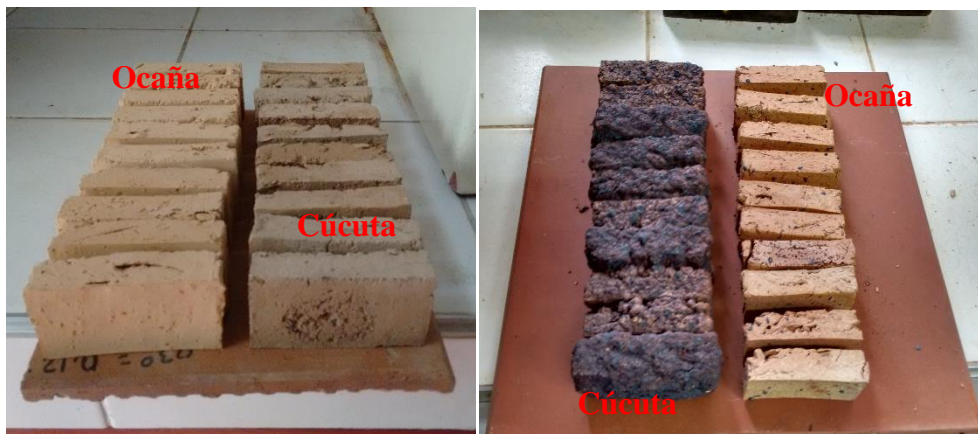


Figura 22. Proceso de sinterización de las probetas.
Nota fuente. Autores del proyecto.

La materia orgánica (fécula de maíz) cumple un papel fundamental en este proceso, ya que tras su calcinación permite la obtención de la estructura reticular y porosa adecuada, para alcanzar la mejor adherencia entre los componentes involucrados en las mezclas a diseñar.

4.2.1.1 Diseño de la mezcla (Muestra-materia orgánica-agua).

Tabla 5.

Diseño de la mezcla (Muestra-materia orgánica- agua).

Localizacion	Ocaña	Cucuta
Muestra	200 g	200 g
Materia organica	20 g	20 g
Agua	90 ml	100 ml

Nota fuente. Autores del proyecto.

Con estas proporciones se garantizó que la muestra presentara una textura moldeable y consistente para la realización de las probetas a ensayar, permitiendo así obtener la humedad óptima para alcanzar la porosidad deseada.

Tabla 6.

Porcentaje de humedad presente en las probetas.

Porcentaje de humedad		
Muestra	Ocaña	Cucuta
No. recipiente	29	28
Peso de la tara (g)	6.95	7.07
Peso de la muestra + peso de la tara	26.57	19.67
Peso seco muestra + peso de la tara	20.02	15.82
% Humedad	50.11	44

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.2.1.2 Encofrado y desencofrado de probetas. Las dimensiones utilizadas para las probetas se basaron en las especificaciones en cuanto a las medidas de la mufla, para el proceso de sinterización. Esto con el propósito de garantizar la obtención de una cantidad considerable del material y fácil manejabilidad.



Figura 23. Encofrado de las probetas de las muestras Ocaña-Cúcuta.
Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 24. Desencofrado de probetas de las muestras Ocaña-Cúcuta.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Las dimensiones escogidas para las probetas fueron las siguientes:

Tabla 7.

Dimensiones de las probetas.

Dimensiones de las probetas	
Largo	8 cm
Ancho	4 cm
Altura	2 cm

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.2.1.3 Sinterización de las probetas. Para el desarrollo de esta etapa se utilizó una mufla digital la cual proporciona la temperatura necesaria para la calcinación y expansión de las muestras al ser sometidas a 1200 °C. La programación de la mufla permitió alcanzar dicha temperatura en 3 horas (6,67 °C por minuto), manteniendo esta temperatura constante durante 2 horas. Como resultado de la sinterización se obtuvo una curva calorífica presentada a continuación.

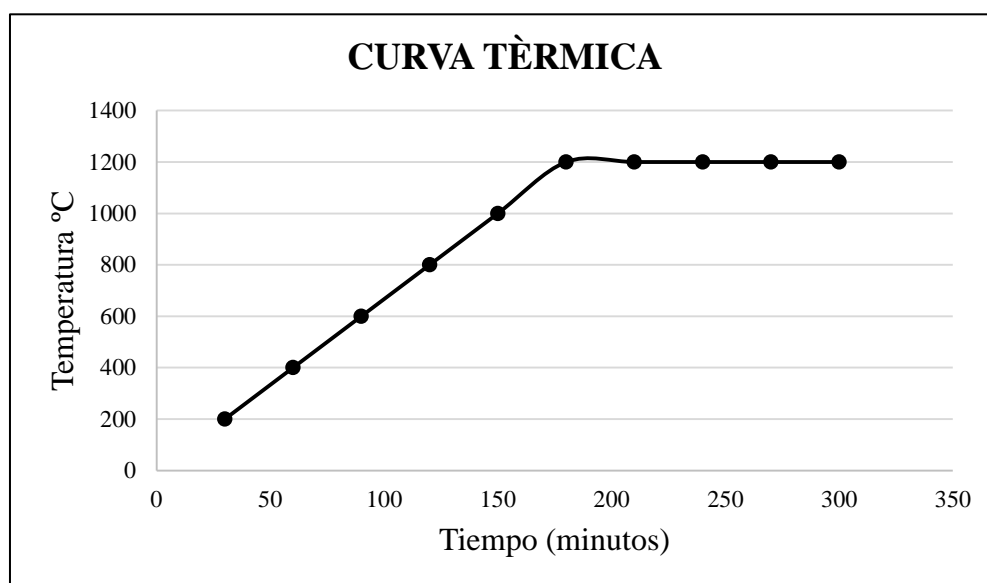


Figura 25. Curva térmica de la sinterización de las probetas.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Teniendo las probetas sinterizadas se determinó el grado de expansión a base del cambio volumétrico presente en cada una de las muestras.

Tabla 8.
Porcentaje de expansión de la probeta de Ocaña.

Muestra de probetas en diferentes estados (Ocaña)			
Estado	Humedo (Recien preparado)	Secado al aire (1 día)	Sinterizado
Volumen (cm3)	64	46.66	52.022
Peso (g)	118	87.94	66.89
% Expansion		11.49	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 9.
Porcentaje de expansión de la probeta de Cúcuta.

Muestra de probetas en diferentes estados (Cucuta)			
Estado	Humedo (Recien preparado)	Secado al aire (1 dia)	Sinterizado
Volumen (cm³)	64	56.32	94.80
Peso (g)	126	97.43	60.58
% Expansion	68.32		

Nota fuente. Autores del proyecto.

En la figura 26 se puede apreciar la diferencia del grado de expansividad en las muestras utilizadas. Lo cual confirma los resultados obtenidos en los ensayos de lambe y expansión libre en probeta, considerando una mayor expansividad en la muestra tomada de la ciudad de Cúcuta con respecto a la del municipio de Ocaña, como se evidencia en las tablas 7 y 8.



Figura 26. Expansividad Ocaña- Cúcuta
Nota fuente. Autores del proyecto.

4.2.1.4 Trituración de las probetas para la obtención del agregado fino. El equipo utilizado dentro este procedimiento fue: dos máquinas trituradoras marca Orión, cada una con un sistema de trituración diferente una de mandíbula y otra de disco, la primera proporcionó un tamaño de partícula retenida en el tamiz #4, permitiendo que la trituración del material

fuese más adecuada para la segunda maquina utilizada, la cual permitió la obtención del tamaño requerido para la realización del ensayo granulométrico.



Figura 27. Trituradora de mandíbula marca Orión.
Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 28. Trituradora de disco marca Orión.
Nota fuente. Autores de proyecto.

[4.2.2 Ensayos para determinar las propiedades de los agregados finos.](#) A continuación, se presentan los ensayos realizados al agregado liviano producido con las diferentes muestras

y al agregado fino (Arena) tomado del rio Algodonal, permitiendo la obtención de los datos necesarios para sus respectivas dosificaciones.

4.2.2.1 Granulometría de los agregados. A partir de este ensayo se pudo obtener la distribución de las partículas del agregado fino, los cuales van desde el tamiz #4 hasta el #200, presentados en las siguientes figuras.

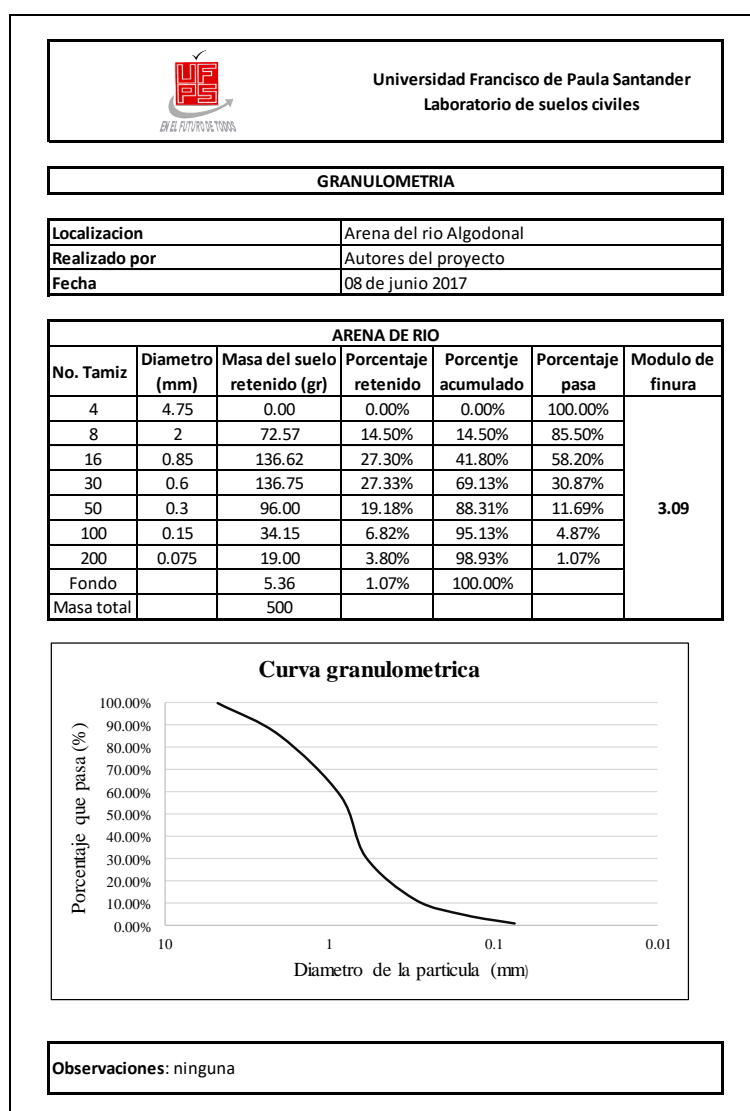


Figura 29. Análisis granulométrico de la arena del rio Algodonal.
Nota fuente. Autores del proyecto.

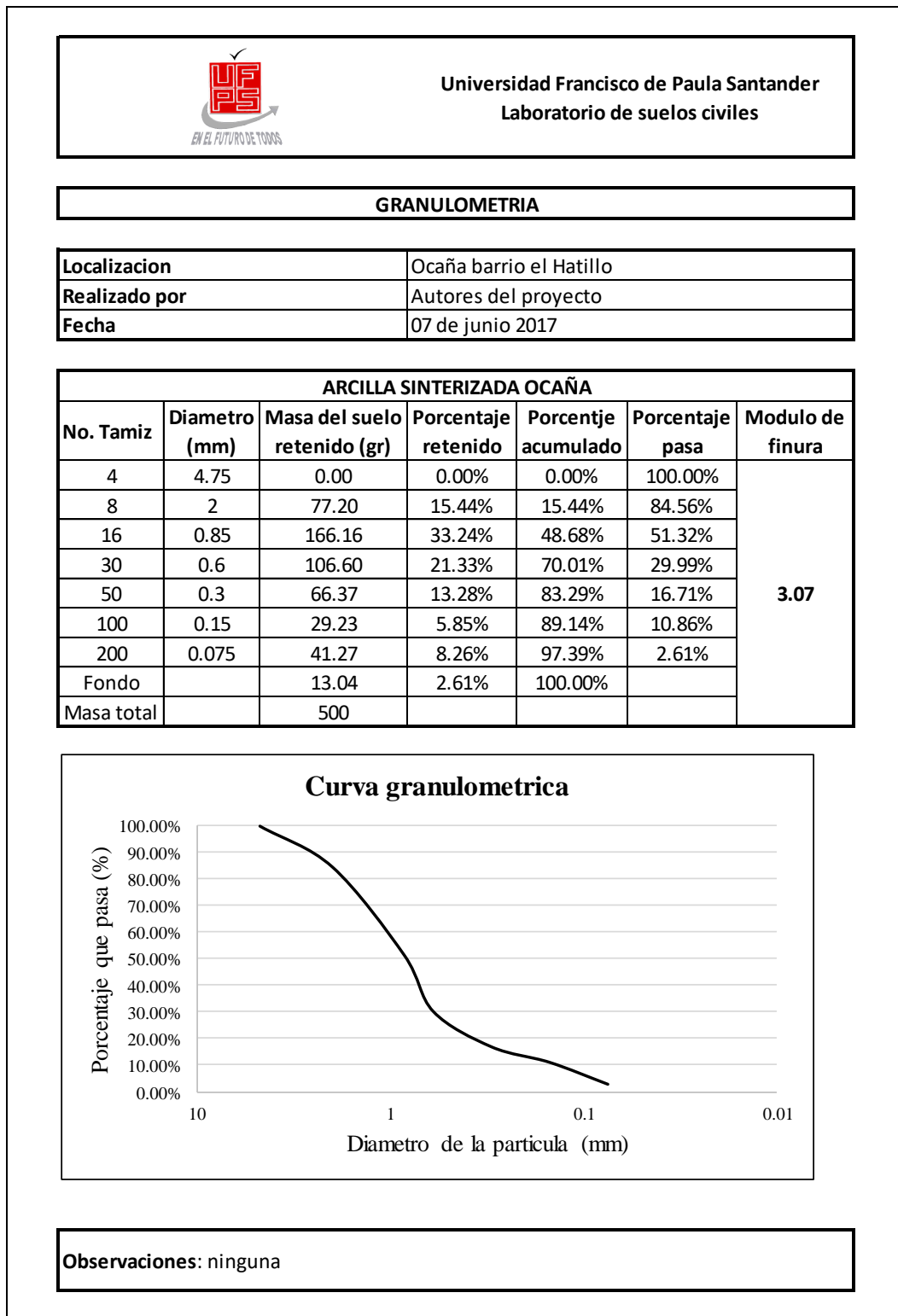


Figura 30. Análisis granulométrico de la arcilla expandida de Ocaña N.S
Nota fuente. Autores del proyecto.

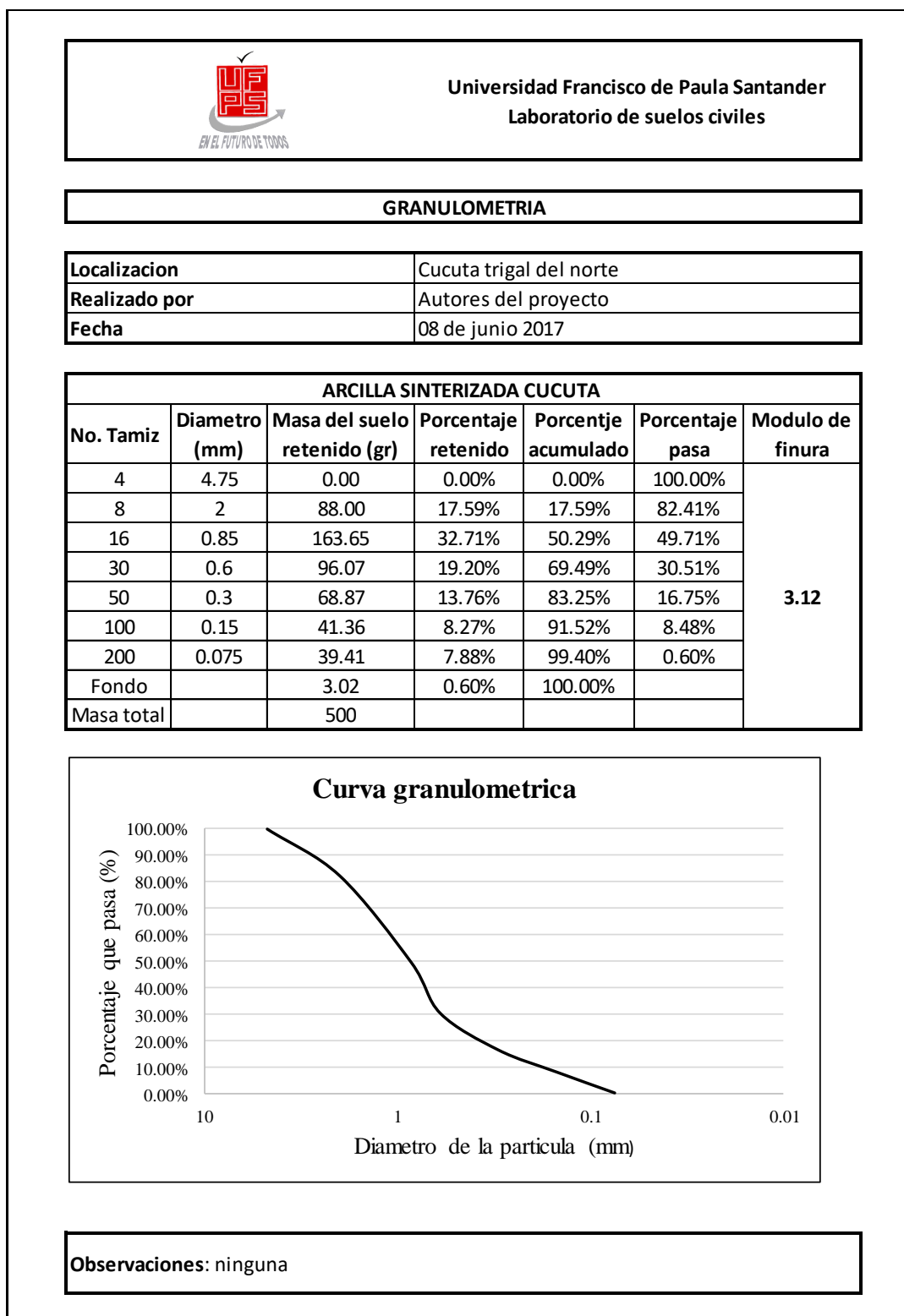


Figura 31. Análisis granulométrico de la arcilla expandida de Cúcuta N.S
Nota fuente. Autores del proyecto.

Con los datos obtenidos de cada una de las granulometrías realizadas, se apreció que el módulo de finura no presenta gran variación entre el agregado producido y el agregado natural.



Figura 32. Granulometría de la arena del río Algodonal.
Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 33. Granulometría de arcilla expandida de Ocaña.
Nota fuente. Autores del proyecto.

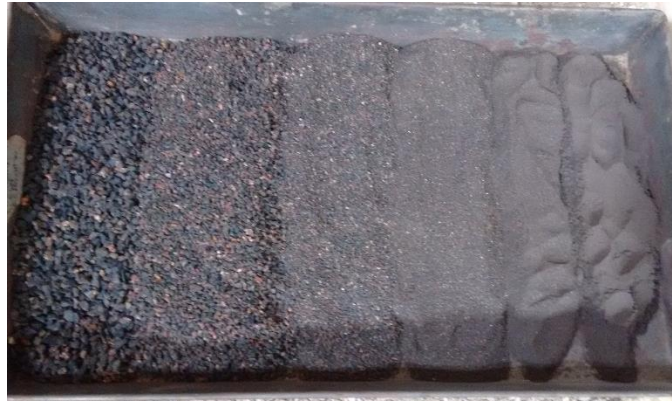


Figura 34. Granulometría de la arcilla expandida Cúcuta.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Los datos obtenidos por el ensayo de granulometría permitieron conocer el módulo de finura de los agregados producidos y del agregado fino natural, los cuales se pueden observar en la tabla 10.

Tabla 10.
Módulos de finura de los agregados finos.

Muestra	Modulo de finura
Arena	3.09
Ocaña	3.07
Cucuta	3.12

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.2.2.2 Densidad y absorción. Los siguientes ensayos permitieron observar la diferencia de densidades y porcentajes de absorción del agregado liviano, con respecto al agregado natural, como se aprecia en las figuras 35,36 y 37.


 Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles	
DENSIDAD Y ABSORCION	
Localizacion	Arena del rio Algodonal
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	07 de junio 2017
No. Picnometro	5.00
Peso de la muestra SSS (g)	500.00
Peso del picnometro (g)	177.34
Peso picnometro + agua (g)	676.00
Volumen de agua (ml)	307.00
Peso picnometro + agua + muestra (g)	983.57
Peso seco de la muestra	493.00
%ABS	1.42
Densidad (g/cm3)	2.56
Observaciones : Ninguna	

Figura 35. Densidad y absorción de la arena del rio Algodonal.
 Nota fuente. Autores del proyecto.


 Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles	
DENSIDAD Y ABSORCION	
Localizacion	Cucuta el trigal del norte
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	09 de junio 2017
No. Picnometro	0.00
Peso de la muestra SSS (g)	300.00
Peso del picnometro (g)	116.33
Peso picnometro + agua (g)	615.00
Volumen de agua (ml)	331.00
Peso picnometro + agua + muestra (g)	746.50
Peso seco de la muestra	263.00
%ABS	14.07
Densidad (g/cm3)	1.56
Observaciones : Debido a que la muestra tiene una baja densidad no se puede hacer con un peso de 500 g como esta estipulado en la norma sino de 300 g, debido a que el volumen de la muestra era mayor al del picnometro.	

Figura 36. Densidad y absorción de la arcilla expandida de Cúcuta N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.


	Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles
DENSIDAD Y ABSORCION	
Localizacion	Ocaña barrio Hatillo
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	09 de junio 2017
No. Picnometro	1.00
Peso de la muestra SSS (g)	500.00
Peso del picnometro (g)	129.87
Peso picnometro + agua (g)	628.00
Volumen de agua (ml)	253.00
Peso picnometro + agua + muestra (g)	882.24
Peso seco de la muestra	417.00
%ABS	19.90
Densidad (g/cm3)	1.69
Observaciones : Ninguna	

Figura 37. Densidad y absorción de la arcilla expandida de Ocaña N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

Los resultados obtenidos demostraron que las densidades de las arcillas expandidas de Ocaña y Cúcuta presentan una considerable disminución, con respecto a la arena tomada del rio Algodonal. Lo cual cumple con el objetivo establecido en la investigación para el diseño de morteros livianos.

Tabla 11.
 Diferencia de densidades.

Diferencia de densidades			
Muestra	Arena de rio	Arcilla expandida Ocaña	Arcilla expandida Cúcuta
Densidad (g/cm3)	2.56	1.69	1.56

Nota fuente. Autores del proyecto.

Partiendo de que la arena del río Algodonal es el 100 % en la densidad de un agregado fino, se puede observar que el porcentaje de disminución de la arcilla expandida de Ocaña es del 33.98 % y la arcilla expandida de Cúcuta es de un 39.06 %.

En la figura 38 se puede observar la variación de las densidades y porcentajes de absorción del agregado fino natural y los agregados producidos.

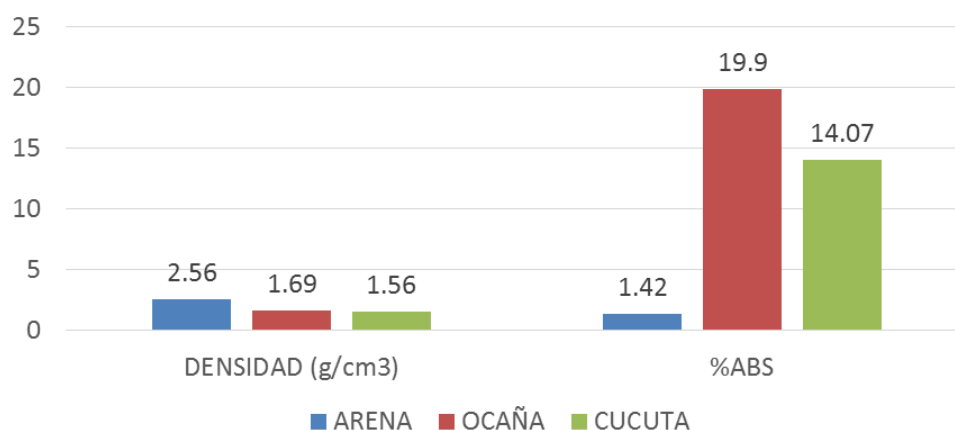


Figura 38. Resultados del ensayo de densidad y absorción.
Nota fuente. Autores del proyecto.

4.2.2.3 Masa unitaria suelta y compactada. Este ensayo permitió obtener la cantidad de material necesaria para ocupar un volumen conocido mediante dos formas, una es dejando caer el material creando espacios vacíos entre sus partículas (suelto) y la otra es compactar mediante una varilla de punta redondeada lisa la muestra dividida en tres capas similares, obteniendo ambos pesos en los diferentes procedimientos mostrados a continuación, en las figuras 39, 40 y 41.


	Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles
MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTADA	
Localizacion	Arena del rio Algodonal
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	05 de junio 2017
Peso molde (g)	4494.00
Diamtero del molde (cm)	12.70
Altura (cm)	17.78
Peso del molde + peso del suelo (g)	8305.00
Area (cm²)	126.68
Volumen (cm³)	2252.32
M.U.S (g/cm³)	1.69
Peso molde (g)	4494.00
Diamtero del molde (cm)	12.70
Altura (cm)	16.80
Peso del molde + peso del suelo (g)	8281.00
Area (cm²)	126.68
Volumen (cm³)	2128.18
M.U.C (g/cm³)	1.78
Observaciones : Ninguna	

Figura 39. Masa unitaria suelta y compactada de la arena del rio Algodonal.
 Nota fuente. Autores del proyecto.


 <p style="font-size: small;">EN EL FUTURO DE TODOS</p>	Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles
MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTADA	
Localizacion	Ocaña barrio el Hatillo
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	09 de junio 2017
Peso molde (g)	3239.00
Diametro del molde (cm)	10.25
Altura (cm)	11.82
Peso del molde + peso del suelo (g)	4104.00
Area (cm²)	82.44
Volumen (cm³)	974.39
M.U.S (g/cm³)	0.89
Peso molde (g)	3239.00
Diametro del molde (cm)	10.25
Altura (cm)	9.95
Peso del molde + peso del suelo (g)	4104.00
Area (cm²)	82.44
Volumen (cm³)	820.23
M.U.C (g/cm³)	1.05
Observaciones : Ninguna	

Figura 40. Masa unitaria suelta y compactada de la arcilla expandida de Ocaña N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.


	Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de suelos civiles
MASA UNITARIA SUELTA Y COMPACTADA	
Localizacion	Cucuta el trigal del norte
Realizado por	Autores del proyecto
Fecha	09 de junio 2017
Peso molde (g)	3239.00
Diamtero del molde (cm)	10.25
Altura (cm)	11.82
Peso del molde + peso del suelo (g)	3938.00
Area (cm²)	82.44
Volumen (cm³)	974.39
M.U.S (g/cm³)	0.72
Peso molde (g)	3239.00
Diamtero del molde (cm)	10.25
Altura (cm)	9.93
Peso del molde + peso del suelo (g)	3940.00
Area (cm²)	82.44
Volumen (cm³)	818.59
M.U.C (g/cm³)	0.86
Observaciones : Ninguna	

Figura 41. Masa unitaria suelta y compactada de la arcilla expandida de Cúcuta N.S
 Nota fuente. Autores del proyecto.

Analizando los resultados presentes en cada tipo de agregado, se resalta la disminución de un 57% de la masa unitaria suelta en el agregado de Cúcuta norte de Santander y de un 48% de la misma del municipio de Ocaña con respecto a la arena del rio algodonal. Lo cual indica que para un volumen determinado se necesitara menos cantidad en gramos de agregado liviano a utilizar.

Los resultados de los laboratorios de masa unitaria suelta y masa unitaria compactada de los agregados producidos y del agregado fino natural se encuentran presentes en la tabla 12.

Tabla 12.

Resultados de la masa unitaria suelta y compactada de los agregados.

Muestra	M.U.S	M.U.C
Arena	1.69	1.78
Oaña	0.89	1.05
Cucuta	0.72	0.86

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3 Objetivo 3. Ensayar los diferentes porcentajes del material liviano (arcilla expandida) que reemplazaran el agregado fino (arena) en cada dosificación a diseñar, para los morteros propuestos en la tabla D.3.4-1 de la NSR-10.

Para diseñar las dosificaciones, se tuvo en cuenta la resistencia de los morteros propuestos en la tabla D.3.4-1 de la NSR-10.

Tabla 13.

Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción.

Mortero tipo	Especificacion de los morteros por propiedad			Especificacion de los morteros por proporcion				
	Resistencia minima a la compresion f'cp Mpa	Flujo en %	Retencion minima de agua	Cemento portland	Cal hidratada	Cemento para mamposteria	Arena/ material cementante	
							Min	Max
H	22.5	115-125	75%	1	0.25	No aplica	2.00	2.5
M	17.5	115-125	75%	1	0.25	No aplica	2.25	3.0
				1	No aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110-120	75%	1	0.25 a 0.50	No aplica	2.50	3.5
				0.5	No aplica	1	2.50	3.0

Nota fuente. NSR-10

4.3.1 Ilustración para el cálculo de las diferentes dosificaciones.

4.3.1.1 Paso 1. Cuantía del cemento. Para el cálculo de la cuantía del cemento se intercepta la resistencia a la compresión (225 Kg/cm²) con la curva del módulo de finura presente en la figura 42, teniendo esta un valor de 3.12 para la arcilla expandida de Cúcuta. Arrojando el siguiente resultado:

C: 520 Kg/m³

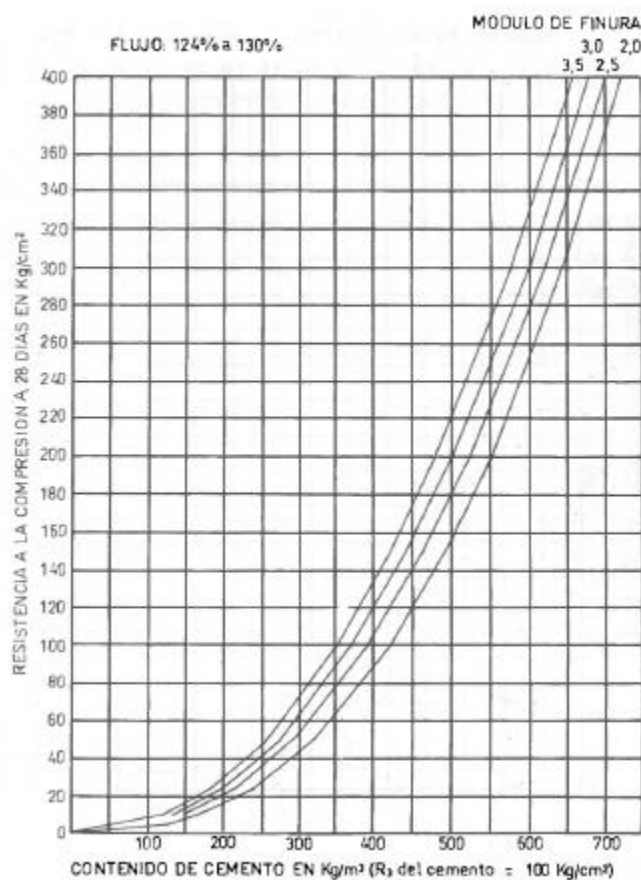


Figura 42. Contenido de cemento.

Nota fuente. Capítulo 3. Morteros- Universidad Nacional

4.3.1.2 Paso 2. Cantidad de agua. Para el cálculo de la cantidad de agua se intercepta la resistencia a la compresión (225 Kg/cm²) con la curva relación agua- cemento, presente en la figura 43. Arrojando el siguiente resultado:

A/C: 0.54

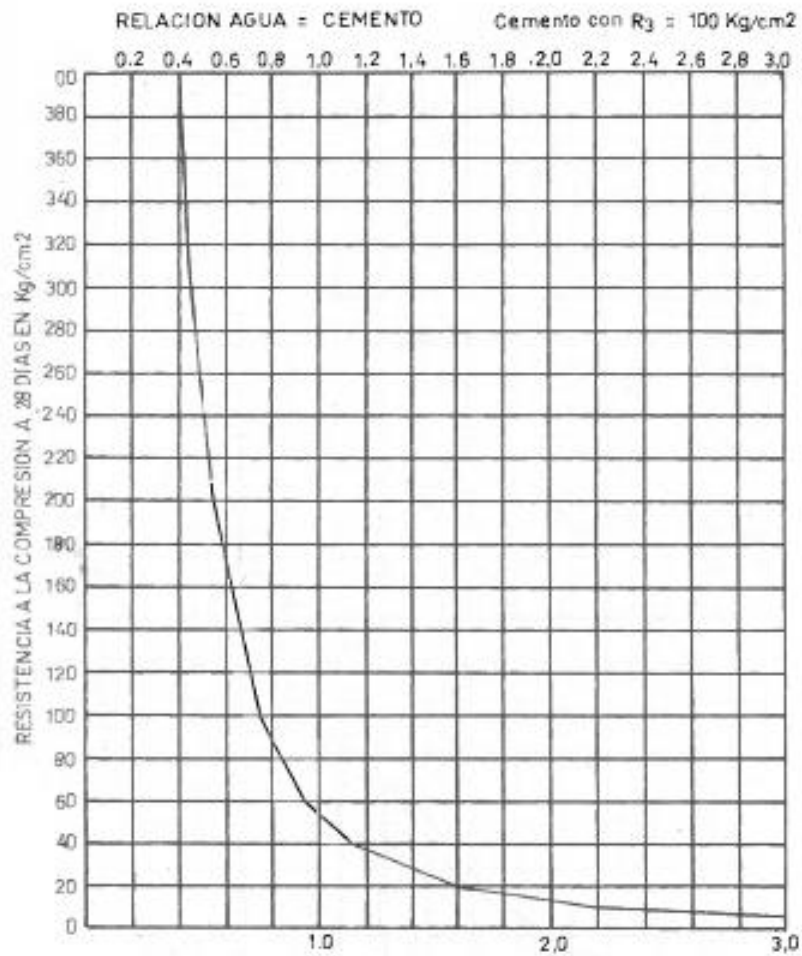


Figura 43. Relación Agua/Cemento.

Nota fuente. Capítulo 3. Morteros – Universidad Nacional

La cantidad de agua es:

A/C: 0.54

A: $0.54 \cdot 520$

A: 280.80 Kg/m^3

4.3.1.3 Paso 3. Contenido del árido.

Densidad del cemento: 3100 Kg/m^3

Densidad de la arcilla expandida: 1560 Kg/m^3

Masa unitaria suelta de la arcilla expandida: 720 Kg/m³

Volumen del cemento:

$$V_c = \frac{520}{3100}$$

$$V_c = 0.17 \text{ m}^3$$

Volumen del agua:

$$V_{agua} = 0.28 \text{ m}^3$$

Volumen del árido:

$$V_{ar} = 1 - (V_c + V_{agua})$$

$$V_{ar} = 1 - (0.17 + 0.28)$$

$$V_{ar} = 0.55$$

Cantidad de árido:

$$A_{arena} = V_{ar} * Densidad$$

$$A_{arena} = 0.55 * 1560$$

$$A_{arena} = 860.27$$

Tabla 14.

Proporciones iniciales.

	Proporciones iniciales			
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	280.80	520.00	860.27	1661.07
Vol. Absoluto	280.80	167.74	551.46	1000.00
Proporciones	0.54	1.00	1.65	

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.1.4. Paso 4. Ajustes por humedad.

Volumen del mortero a preparar:

Vol. Trono cono: 0.3 dm^3

Vol. De un cubo: 0.125 dm^3

Fluidez: 0.3

Vol. Total: 0.375 dm^3

Suma: 0.675 dm^3

Desperdicio (10%): 0.0625 dm^3

Volumen total: 0.7425 dm^3

C: 390 g

C1: 500 g

Tabla 15.

Ajuste por humedad del mortero liviano.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa húmeda	Agua agregado	Absorción	Aporte
Agua	0.54	270				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	1.65	827	827	0	116.39	-116

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 16.

Dosificación final del mortero liviano.

Proporción	Proporción final		
	Agua	Cemento	Arena
Proporción	0.77	1.00	1.65

Nota fuente. Autores del proyecto.

[4.3.1.5 Paso 5. Ensayo de fluidez.](#) Según la norma I.N.V. E-325-07, para el cálculo del porcentaje de fluidez para cada tipo de mortero a realizar se procedió de la siguiente manera:

Se realizó el mezclado de forma manual de las dosificaciones para cada tipo de mortero con los diferentes agregados, luego se vació cada mezcla en el anillo tronco cónico en dos capas cada una de 25 golpes sobre la mesa de fluidez mecánica, se retiró todo tipo de desperdicio de la mezcla presente sobre la mesa y el anillo para luego enrazar. Posteriormente se dejó reposar la mezcla durante 1 minuto, pasado este tiempo se retiró el anillo y se procedió a dar los 25 golpes mediante la polea de la mesa de flujo produciendo la deformación de la mezcla, como último paso se realizó la toma de lecturas de los diámetros para la obtención de la fluidez.

[4.3.2 Dosificaciones de mortero liviano arcilla expandida de Ocaña.](#) Para la realización de la dosificación se utilizaron diferentes materiales con ciertas características como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17.

Propiedades de los materiales para la dosificación del mortero liviano con arcilla expandida de Ocaña.

Materiales			
	Cemento	Agua	Agregado fino
Densidad	3100	1000	1690
M.U.S			890
M.F			3.07
% ABS			19.9

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.2.1 Mortero tipo H utilizando arcilla expandida de Ocaña.

La primera dosificación del mortero tipo H utilizando arcilla expandida de Ocaña dio la siguiente proporción.

Tabla 18.

Proporciones iniciales del mortero tipo H ($R'm: 225 \text{ Kg/cm}^2$), utilizando arcilla expandida de Ocaña.

	Proporciones iniciales			
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	272.48	522.00	944.93	1739.41
Vol. Absoluto	272.48	168.39	559.13	1000.00
Proporciones	0.522	1.00	1.81	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 19.

Ajuste por humedad del mortero tipo H ($R'm: 225 \text{ Kg/cm}^2$), utilizando arcilla expandida de Ocaña.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa húmeda	Agua agregado	Absorción	Aporte
Agua	0.522	261				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	1.81	905	905	0	180.12	-180

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 20.

Dosificación final del mortero tipo H ($R'm: 225 \text{ Kg/cm}^2$), utilizando arcilla expandida de Ocaña.

	Proporción final		
	Agua	Cemento	Arena
Proporción	0.88	1.00	1.81

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.2.2 Mortero tipo M utilizando arcilla expandida de Ocaña.

La primera dosificación del mortero tipo M, utilizando arcilla expandida de Ocaña dio la siguiente proporción.

Tabla 21.

Proporciones iniciales del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.

Proporciones iniciales				
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	277.30	470.00	965.14	1712.44
Vol. Absoluto	277.30	151.61	571.09	1000.00
Proporciones	0.59	1.00	2.05	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 22.

Ajuste por humedad del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa húmeda	Agua agregado	Absorción	Aporte
Agua	0.59	295				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	2.05	1027	1027	0	204.32	-204

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 23.

Dosificación final del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.

Proporción final			
	Agua	Cemento	Arena
Proporción	1.00	1.00	2.05

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.2.3 Mortero tipo S utilizando arcilla expandida de Ocaña.

La primera dosificación del mortero tipo S, utilizando arcilla expandida de Ocaña dio la siguiente proporción.

Tabla 24.

Proporciones iniciales del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.

Proporciones iniciales				
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	265.20	390.00	1029.20	1684.40
Vol. Absoluto	265.20	125.81	608.99	1000.00
Proporciones	0.68	1.00	2.64	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 25.

Ajuste por humedad del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa húmeda	Agua agregado	Absorción	Aporte
Agua	0.68	340				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	2.64	1319	1319	0	262.58	-263

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 26.

Dosificación final del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Ocaña.

Proporción final			
	Agua	Cemento	Arena
Proporción	1.21	1.00	2.64

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.2.4 Determinación de la fluidez del mortero liviano, utilizando arcilla expandida de Ocaña.

Tabla 27.

Determinación de la fluidez del mortero liviano, utilizando arcilla expandida de Ocaña

Tipo de morterto	Diametro promedio	Diametro icnial	Porcentaje de fluidez
H	22.32	10.16	119.69%
M	22.35	10.16	120.00%
S	21.785	10.16	114.42%

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.3 Dosificaciones de mortero liviano con arcilla expandida de Cúcuta. Para la realización de la dosificación se utilizaron diferentes materiales con ciertas características como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28.

Propiedades de los materiales para la dosificación del mortero liviano con arcilla expandida de Cucuta.

Materiales			
	Cemento	Agua	Agregado fino
Densidad	3100	1000	1560
M.U.S			720
M.F			3.12
% ABS			14.07

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.3.1 Mortero tipo H utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

La primera dosificación del mortero tipo H utilizando arcilla expandida de Cúcuta dio la siguiente proporción.

Tabla 29.

Proporciones iniciales del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

	Proporciones iniciales			
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	280.80	520.00	860.27	1661.07
Vol. Absoluto	280.80	167.74	551.46	1000.00
Proporciones	0.54	1.00	1.65	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 30.

Ajuste por humedad del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa húmeda	Agua agregado	Absorción	Aporte
Agua	0.54	270				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	1.65	827	827	0	116.39	-116

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 31.

Dosificación final del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

	Proporción final		
	Agua	Cemento	Arena
Proporción	0.77	1.00	1.65

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.3.2 Mortero tipo M utilizando arcilla expandida de Cúcuta. La primera dosificación del mortero tipo H utilizando arcilla expandida de Cúcuta dio la siguiente proporción.

Tabla 32.

Proporciones iniciales del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

Proporciones iniciales				
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	246.00	410.00	969.92	1625.92
Vol. Absoluto	246.00	132.26	621.74	1000.00
Proporciones	0.6	1.00	2.37	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 33.

Ajuste por humedad del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa húmeda	Agua agregado	Absorción	Aporte
Agua	0.6	300				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	2.37	1183	1183	0	166.42	-166

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 34.

Dosificación final del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

Proporción final			
	Agua	Cemento	Arena
Proporción	0.93	1.00	2.37

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.3.3 Mortero tipo S utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

La primera dosificación del mortero tipo S utilizando arcilla expandida de Cúcuta dio la siguiente proporción.

Tabla 35.

Proporciones iniciales del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

Proporciones iniciales				
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	266.00	380.00	953.81	1599.81
Vol. Absoluto	266.00	122.58	611.42	1000.00
Proporciones	0.7	1.00	2.51	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 36.

Ajuste por humedad del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa húmeda	Agua agregado	Absorción	Aporte
Agua	0.7	350				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	2.51	1255	1255	0	176.58	-177

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 37.

Dosificación final del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm²), utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

Proporción final			
	Agua	Cemento	Arena
Proporciones	1.05	1.00	2.51

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.3.4 Determinación de la fluidez del mortero liviano, utilizando arcilla expandida

de Cúcuta.

Tabla 38.

Determinación de la fluidez del mortero liviano, utilizando arcilla expandida de Cúcuta.

Tipo de mortero	Diametro promedio	Diametro icnial	Porcentaje de fluidez
H	21.98	10.16	116.36%
M	22.25	10.16	118.97%
S	21.685	10.16	113.44%

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.4 Dosificaciones de mortero con arena del rio Algodonal. Para la realización de la dosificación se utilizaron diferentes materiales con ciertas características como se muestra en la tabla 39.

Tabla 39.

Propiedades de los materiales para la dosificación del mortero con arena del rio Algodonal

Materiales			
	Cemento	Agua	Agregado fino
Densidad	3100	1000	2560
M.U.S			1690
M.F			3.09
% ABS			1.42

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.4.1 Mortero tipo H utilizando arena del rio Algodonal. La primera dosificación del mortero tipo H utilizando arena del rio algodonal dio la siguiente proporción.

Tabla 40.

Proporciones iniciales del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm²), utilizando arena del rio Algodonal.

	Proporciones			
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	291.60	540.00	1367.57	2199.17
Vol. Absoluto	291.60	174.19	534.21	1000.00
Proporciones	0.54	1.00	2.53	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 41.

Ajuste por humedad del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm²), utilizando arena del rio Algodonal.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa humeda	Agua agregado	Absorción	Aporte
Agua	0.54	270				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	2.53	1266	1279	13	17.98	-5

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 42.

Dosificación final del mortero tipo H (R'm: 225 Kg/cm²), utilizando arena del rio Algodonal.

	Proporción final		
	Agua	Cemento	Arena
Proporción	0.55	1.00	2.56

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.4.2 Mortero tipo M utilizando arena del rio Algodonal. La primera dosificación del mortero tipo M utilizando arena del rio algodonal dio la siguiente proporción.

Tabla 43.

Proporciones iniciales del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm²), utilizando arena del rio Algodonal

	Proporciones iniciales			
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	282.00	470.00	1449.95	2201.95
Vol. Absoluto	282.00	151.61	566.39	1000.00
Proporciones	0.6	1.00	3.09	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 44.

Ajuste por humedad del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm²), utilizando arena del rio Algodonal.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa humeda	Agua agregado	Absorción	Aporte
Agua	0.6	300				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	3.09	1543	1558	15	21.90	-6

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 45.

Dosificación final del mortero tipo M (R'm: 175 Kg/cm²), utilizando arena del rio Algodonal.

	Proporción final		
	Agua	Cemento	Arena
Proporción	0.61	1.00	3.12

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.4.3 Mortero tipo S utilizando arena del rio Algodonal. La primera dosificación del mortero tipo S utilizando arena del rio algodonal dio la siguiente proporción.

Tabla 46.

Proporciones iniciales del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm²), utilizando arena del rio Algodonal.

Proporciones iniciales				
	Agua	Cemento	Arena	Suma
Masa (Kg/m³)	273.00	390.00	1539.06	2202.06
Vol. Absoluto	273.00	125.81	601.19	1000.00
Proporciones	0.7	1.00	3.95	

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 47.

Ajuste por humedad del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm²), utilizando arena del rio Algodonal.

Material	Proporciones	Masa seca	Masa humeda	Agua agregado	Absorcion	Aporte
Agua	0.7	350				
Cemento	1.00	500				
Agregado fino	3.95	1973	1993	20	28.02	-8

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 48.

Dosificación final del mortero tipo S (R'm: 125 Kg/cm²), utilizando arena del rio Algodonal.

Proporcion final			
	Agua	Cemento	Arena
Proporcion	0.72	1.00	3.99

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.4.4 Determinación de la fluidez del mortero convencional, utilizando arena del

rio Algodonal.

Tabla 49.

Determinación de la fluidez del mortero convencional, utilizando arena del rio Algodonal.

Tipo de morterto	Diametro promedio	Diametro icnial	Porcentaje de fluidez
H	22.06	10.16	117.13%
M	22.70	10.16	123.38%
S	21.91	10.16	115.65%

Nota fuente. Autores del proyecto.

Realizando los respectivos cálculos de cemento, arena y agua de los morteros livianos y convencionales, se pueden constatar las diferentes dosificaciones propuestas para la investigación en la tabla 50.

Tabla 50.

Dosificaciones de los morteros livianos y convencionales.

Muestra	Tipo de mortero	Cemento	Arena	Agua
Arena	H	1	2.56	0.55
Arena	M	1	3.12	0.61
Arena	S	1	3.99	0.72
Ocaña	H	1	1.81	0.88
Ocaña	M	1	2.05	1.00
Ocaña	S	1	2.64	1.21
Cucuta	H	1	1.65	0.77
Cucuta	M	1	2.37	0.93
Cucuta	S	1	2.51	1.05

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.5 Ensayo de resistencia a la compresión. El ensayo permitió observar el comportamiento de cada una de las dosificaciones al ser sometidas a una carga durante un lapso de tiempo, produciendo la deformación del espécimen hasta llegar a su límite de fractura. Con el fin de determinar mediante el área del espécimen y la carga máxima soportada, la resistencia a la compresión. Los datos obtenidos en este ensayo se encontrarán de forma más detallada en el apéndice E.

4.3.5.1 Resultado de las resistencias de los morteros convencionales.

Tabla 51.

Resistencia a la compresión de los morteros convencionales.

Resistencia a la compresion				
Muestra	Tipo de morterto	Resistencia 7 dias (Mpa)	Resistencia 14 dias (Mpa)	Resistencia 28 dias (Mpa)
Arena	H	19.87	21.88	21.08
	M	13.03	14	12.45
	S	13.74	10.93	11.11

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.5.2 Resultado de las resistencias a los 7 días de los morteros livianos.

Tabla 52.

Resistencia a la compresión de los morteros livianos a los 7 dias.

Resistencia a la compresion (7 dias)		
Muestra	Tipo de mortero	Resistencia (Mpa)
Ocaña	H	25.08
Cucuta	H	33.75
Ocaña	M	20.25
Cucuta	M	10.63
Ocaña	S	20.55
Cucuta	S	18.26

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.5.2 Resultado de las resistencias a los 14 días de los morteros livianos.

Tabla 53.

Resistencia a la compresión de los morteros livianos a los 14 días.

Resistencia a la compresion (14 días)		
Muestra	Tipo de mortero	Resistencia (Mpa)
Ocaña	H	42.76
Cucuta	H	36.04
Ocaña	M	29.53
Cucuta	M	16.3
Ocaña	S	25.02
Cucuta	S	11.14

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.5.2 Resultado de las resistencias a los 14 días de los morteros livianos.

Tabla 54.

Resistencia a la compresión de los morteros livianos a los 28 días.

Resistencia a la compresion (28 días)		
Muestra	Tipo de mortero	Resistencia (Mpa)
Ocaña	H	44.21
Cucuta	H	35.16
Ocaña	M	24.94
Cucuta	M	14.06
Ocaña	S	22.74
Cucuta	S	19.14

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.5.2 Análisis de las resistencias de los morteros livianos.

4.3.5.2.1 Mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña.

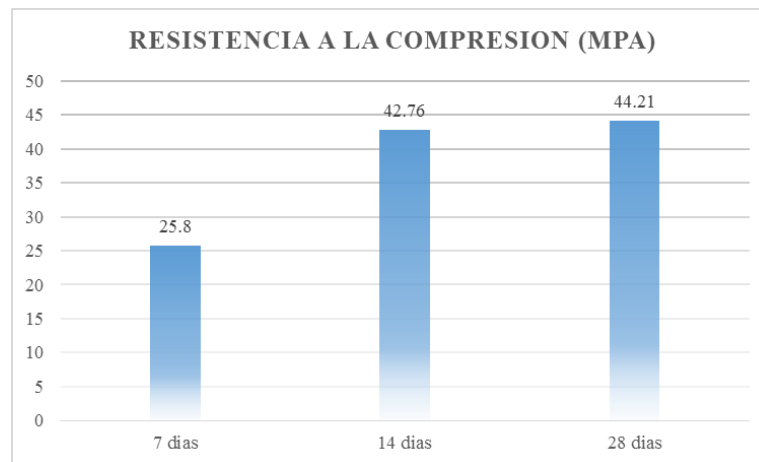


Figura 44. Resistencia de mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Dados los datos obtenidos por el ensayo de resistencia a los especímenes tipo H, se puede apreciar que estos presentan un excelente comportamiento a lo largo del tiempo de fraguado, aumentando su resistencia conforme este, cumpliendo con lo establecido por la NSR-10.

4.3.5.2.2 Mortero tipo H con arcilla expandida de Cúcuta.

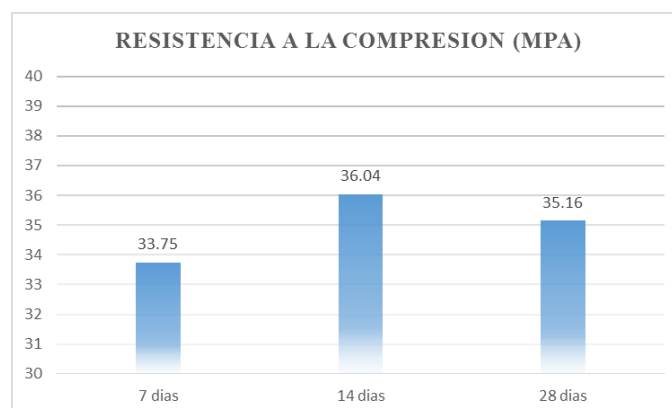


Figura 45. Resistencia de mortero tipo H con arcilla expandida de Cúcuta.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Los datos arrojados permitieron observar una pequeña disminución en su resistencia entre los 14 y 28 días del tiempo de fraguado, sin embargo, su resistencia sigue cumpliendo con el criterio mínimo establecido por la NSR-10.

Según las resistencias obtenidas para los morteros tipo H, se puede realizar una comparación de los morteros livianos con respecto a los morteros convencionales y los propuestos por la NSR-10, ver figura 46.

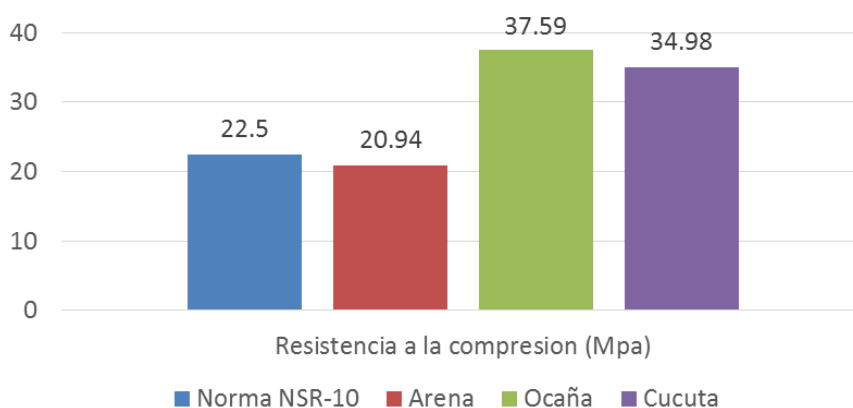


Figura 46. Resistencias obtenidas para el mortero tipo H.
Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.5.2.3 Mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña.

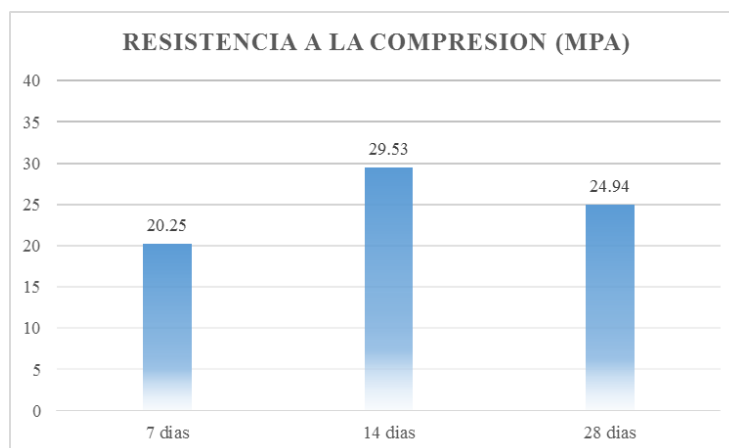


Figura 47. Resistencia de mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Su comportamiento frente al ensayo de resistencia fue satisfactorio cumpliendo con lo establecido por la NSR-10 presentando solo una pequeña disminución entre los 14 y 28 días de fraguado.

4.3.5.2.4 Mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta.

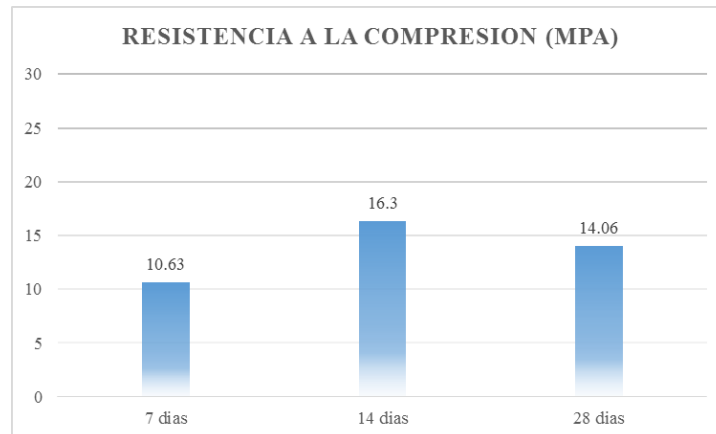


Figura 48. Resistencia de mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Este tipo de mortero presentó un aumento considerable en su resistencia durante el ensayo en el día 14 de fraguado, pero no alcanzó el resultado mínimo propuesto por la NSR-10, debido a la disminución en la cantidad de cemento utilizada en el cálculo de su dosificación.

Dadas las resistencias obtenidas para los morteros tipo M, se puede realizar una comparación de los morteros livianos con respecto a los morteros convencionales y los propuestos por la NSR-10, ver figura 49.

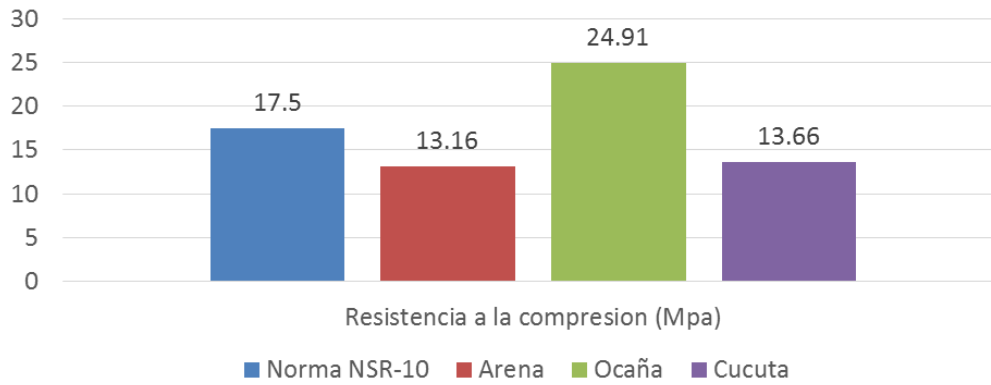


Figura 49. Resistencia de los morteros tipo M.
Nota fuente. Autores del proyecto.

4.3.5.2.5 Mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña.

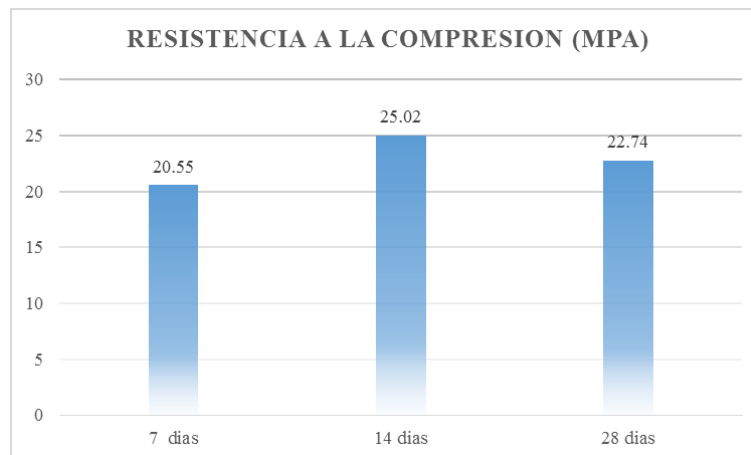


Figura 50. Resistencia de mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Su comportamiento fue satisfactorio frente a lo establecido en la NSR-10, durante la ejecución del ensayo. Arrojando resultados favorables a la investigación.

4.3.5.2.6 Mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta.

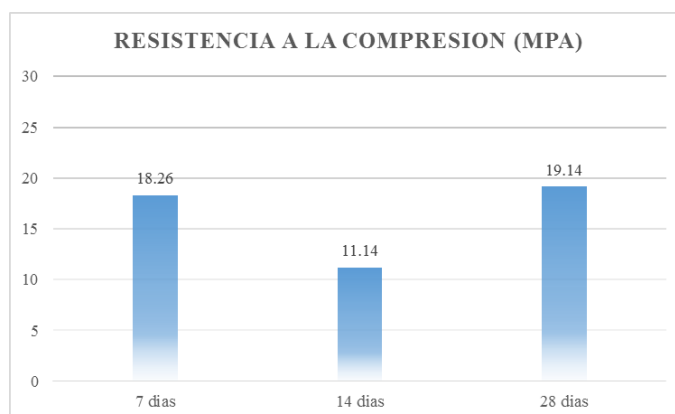


Figura 51. Resistencia de mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Durante el ensayo el espécimen presentó una disminución a entre los 7 y 14 días considerables, pero logró alcanzar la resistencia deseada a los 28 días de fraguado, cumpliendo con las expectativas propuestas para la investigación y la norma NSR-10.

Según las resistencias obtenidas para los morteros tipo S, se puede realizar una comparación de los morteros livianos con respecto a los morteros convencionales y los propuestos por la NSR-10, ver figura 52.

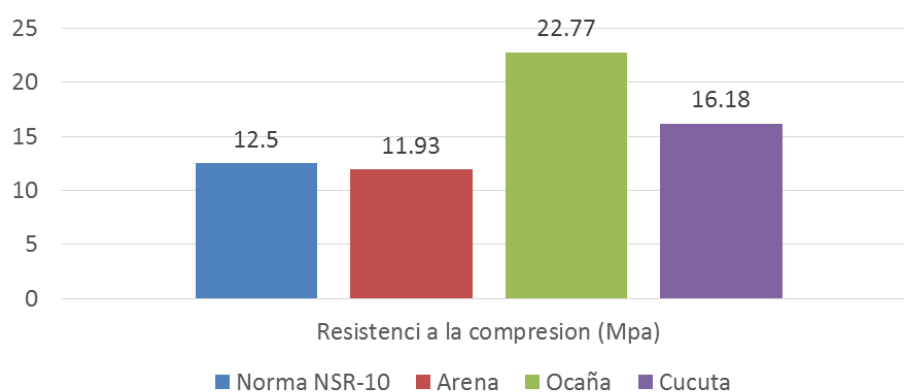


Figura 52. Resistencia de los morteros tipo S.
Nota fuente. Autores del proyecto.

4.4 Objetivo 4. Comparar por medio de un análisis de presupuesto el costo de un mortero liviano y un mortero convencional.

Los datos mostrados a continuación permitieron observar la variación en los precios que presenta cada uno de los morteros realizados para un **1m³**, con los diferentes agregados.

4.4.1 Presupuestos de los morteros

4.4.1.1 Presupuesto del mortero tipo H.

Tabla 55.

Presupuesto del mortero tipo H (arena rio Algodonal).

Presupuesto del mortero tipo H (Arena rio Algodonal)			
Materiales y mano de obra	Cantidad	Costo	Valor total
Cemento (kg)	540.00	\$389.00	\$210,060.00
Agregado fino (m3)	0.82	\$22,000.00	\$17,995.74
Agua (m3)	0.30	\$778.46	\$231.20
Mano de obra			\$20,000.00
Costo total			\$248,286.94

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 56.

Presupuesto del mortero liviano tipo H (Arcilla expandida Cúcuta).

Presupuesto del mortero liviano tipo H (Arcilla expandida Cucuta)			
Materiales y mano de obra	Cantidad	Costo	Valor total
Cemento (kg)	520.00	\$389.00	\$202,280.00
Agregado liviano (m3)	1.19	\$100,000.00	\$119,000.00
Agua (m3)	0.40	\$778.46	\$311.38
Mano de obra			\$20,000.00
Costo total			\$341,591.38

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 57.
Presupuesto del mortero liviano tipo H (Arcilla expandida Ocaña).

Presupuesto del mortero liviano tipo H (Arcilla expandida Ocaña)			
Materiales y mano de obra	Cantidad	Costo	Valor total
Cemento (kg)	522.00	\$389.00	\$203,058.00
Agregado liviano (m3)	1.06	\$100,000.00	\$106,159.55
Agua (m3)	0.46	\$778.46	\$357.59
Mano de obra			\$20,000.00
Costo total			\$329,575.14

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.4.1.2 Presupuesto del mortero tipo M.

Tabla 58.
Presupuesto del mortero liviano tipo M (arena rio Algodonal).

Presupuesto del mortero tipo M (Arena rio Algodonal)			
Materiales y mano de obra	Cantidad	Costo	Valor total
Cemento (kg)	470.00	\$389.00	\$182,830.00
Agregado fino (m3)	0.87	\$22,000.00	\$19,089.23
Agua (m3)	0.29	\$778.46	\$223.18
Mano de obra			\$20,000.00
Costo total			\$222,142.42

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 59.
Presupuesto del mortero liviano tipo M (Arcilla expandida Cucuta).

Presupuesto del mortero liviano tipo M (Arcilla expandida Cucuta)			
Materiales y mano de obra	Cantidad	Costo	Valor total
Cemento (kg)	410.00	\$389.00	\$159,490.00
Agregado liviano (m3)	1.35	\$100,000.00	\$134,958.33
Agua (m3)	0.38	\$778.46	\$296.83
Mano de obra			\$20,000.00
Costo total			\$314,745.16

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 60.
Presupuesto del mortero tipo M (Arcilla expandida Ocaña).

Presupuesto del mortero liviano tipo M (Arcilla expandida Ocaña)			
Materiales y mano de obra	Cantidad	Costo	Valor total
Cemento (kg)	470.00	\$389.00	\$182,830.00
Agregado liviano (m3)	1.08	\$100,000.00	\$108,258.43
Agua (m3)	0.47	\$778.46	\$365.88
Mano de obra			\$20,000.00
Costo total			\$311,454.30

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.4.1.3 Presupuesto del mortero tipo S.

Tabla 61.
Presupuesto del mortero tipo S (arena rio algodonal).

Presupuesto del mortero tipo S (Arena rio Algodonal)			
Materiales y mano de obra	Cantidad	Costo	Valor total
Cemento (kg)	390.00	\$389.00	\$151,710.00
Agregado fino (m3)	0.87	\$22,000.00	\$19,218.11
Agua (m3)	0.28	\$778.46	\$218.59
Mano de obra			\$20,000.00
Costo total			\$191,146.70

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 62.
Presupuesto del mortero tipo S (Arcilla expandida Cúcuta).

Presupuesto del mortero liviano tipo S (Arcilla expandida Cucuta)			
Materiales y mano de obra	Cantidad	Costo	Valor total
Cemento (kg)	380.00	\$389.00	\$147,820.00
Agregado liviano (m3)	1.32	\$100,000.00	\$132,472.22
Agua (m3)	0.40	\$778.46	\$310.61
Mano de obra			\$20,000.00
Costo total			\$300,602.83

Nota fuente. Autores del proyecto.

Tabla 63.

Presupuesto del mortero tipo S (Arcilla expandida Ocaña).

Presupuesto del mortero liviano tipo S (Arcilla expandida Ocaña)			
Materiales y mano de obra	Cantidad	Costo	Valor total
Cemento (kg)	390.00	\$389.00	\$151,710.00
Agregado liviano (m3)	1.18	\$100,000.00	\$117,876.40
Agua (m3)	0.47	\$778.46	\$367.36
Mano de obra			\$20,000.00
Costo total			\$289,953.76

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.4.1.4 Costo del agregado liviano. Para el análisis del costo de producción del agregado liviano, se tuvieron en cuenta las siguientes actividades para la producción de un **1m³**.

Tabla 64.

Costo del agregado liviano.

Costo de la producción del agregado liviano	
Actividades	Costo
Sinterización	\$40,000.00
Trituración	\$40,000.00
Mano de obra	\$20,000.00
Costo total	\$100,000.00

Nota fuente. Autores del proyecto.

4.4.2 Análisis presupuestal de los diferentes morteros realizados.

4.4.2.1 Análisis presupuestal del mortero tipo H.

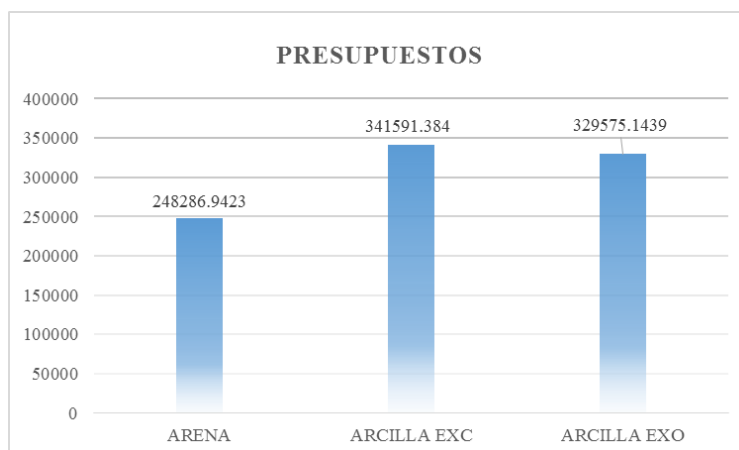


Figura 53. Análisis presupuestal del mortero tipo H.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Con los datos obtenidos se puede apreciar que el aumento del mortero liviano no excede el 38% al costo del mortero convencional, ya que el mortero liviano de arcilla expandida de Cúcuta presenta un aumento del 37,58% y el mortero liviano de arcilla expandida de Ocaña un 32,74%.

4.4.2.2 Análisis presupuestal del mortero tipo M.

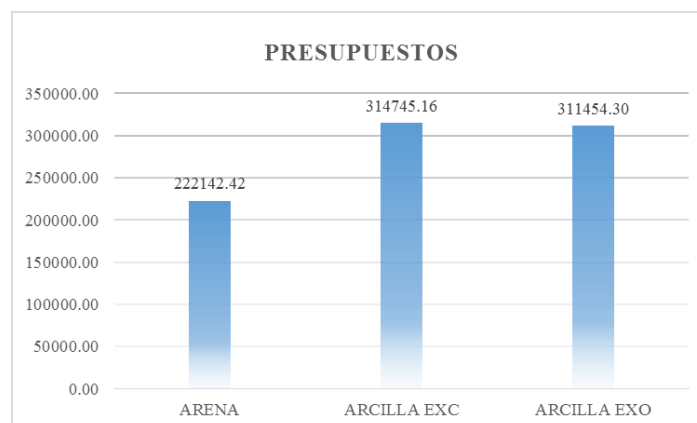


Figura 54. Análisis presupuestal del mortero tipo M.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Debido a que dentro de su dosificación este tipo de mortero requiere más agregado liviano, se refleja un aumento del 42% al costo del mortero convencional, siendo este un

promedio entre el valor del mortero liviano de arcilla expandida de Cúcuta con un 41,69% y el mortero liviano de arcilla expandida de Ocaña con un 40,20%.

4.4.2.3 Análisis presupuestal del mortero tipo S.

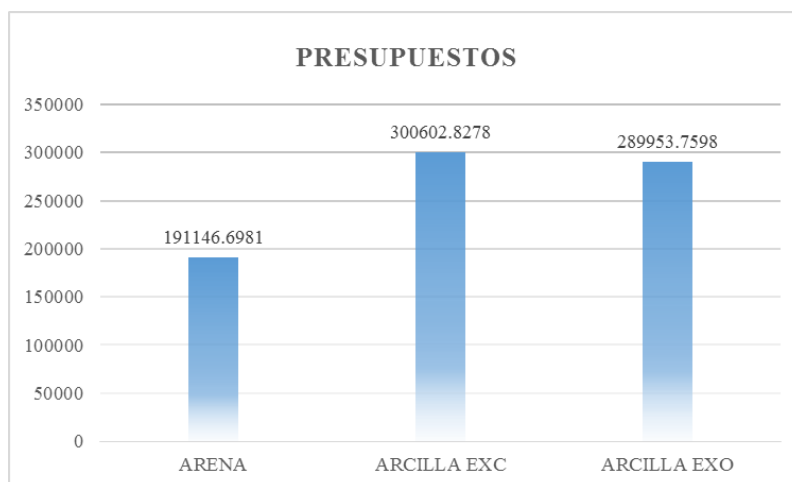


Figura 55. Análisis presupuestal del mortero tipo S.
Nota fuente. Autores del proyecto.

El aumento del 58% en el costo de la producción en este tipo de morteros obedece a la cantidad involucrada de agregado liviano dictada por la dosificación.

El análisis presupuestal de todos los tipos morteros propuestos en la investigación se pueden observar en la figura 56.

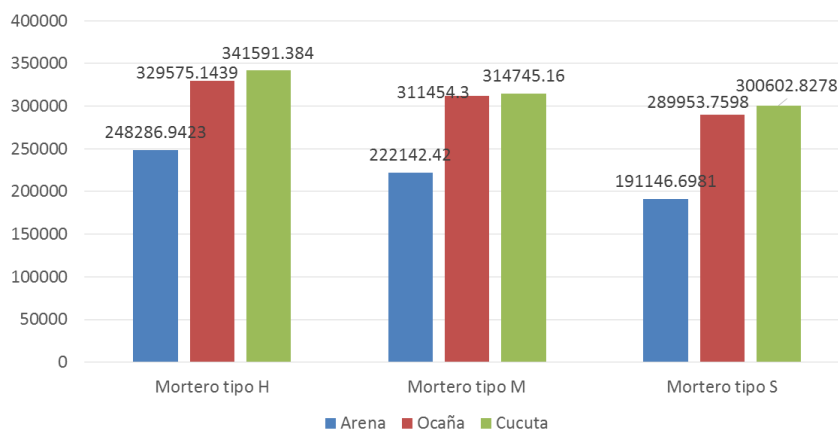


Figura 56. Análisis presupuestal de los morteros propuestas en la investigación.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Capítulo 5. Conclusiones

Los datos obtenidos de los ensayos realizados a las diferentes muestras de arcilla permitieron su clasificación según los sistemas AASTHO y SUCS, siendo catalogadas como arcillas inorgánicas de alta plasticidad, A-7-6 y CH respectivamente, debido a su alto índice de plasticidad y límite líquido. Puesto que este análisis no garantiza que las arcillas presenten un alto porcentaje de cambio volumétrico fue necesario la ejecución del ensayo de lambe y expansión libre en probeta, clasificando la arcilla de Cúcuta como MARGINAL y la de Ocaña como NO CRITICA, con un porcentaje de expansión de 64,29% y 11,76% recíprocamente, afianzando el concepto de alta y medianamente expansiva.

La producción del agregado liviano cumplió con las expectativas propuestas para la investigación, presentando cambios en su densidad, %ABS, M.U.S y módulo de finura con respecto al agregado fino natural, reflejando una disminución del 34% y 39% en la densidad de las arcillas expandidas de Ocaña y Cúcuta, un aumento en su %ABS debido su estructura porosa permitiendo una mayor adherencia entre los componentes involucrados en el diseño de la mezcla y un módulo de finura similar al agregado natural, confirmando su aplicación de forma óptima en el diseño de morteros livianos.

El análisis de resistencia a la compresión realizado a las diferentes dosificaciones con arcilla expandida de Ocaña sobrepaso los niveles estipulados por la norma, presentando un comportamiento para el mortero tipo H 37.59 Mpa, mortero tipo M 24.91 Mpa y mortero tipo S 22.67 Mpa en sus resistencias, teniendo un aumento del 67%,42% y 81% respectivamente, corroborando la efectividad y viabilidad del agregado liviano producido con la arcilla medianamente expansiva del municipio.

Por otro lado, los datos arrojados para las dosificaciones realizadas con el agregado liviano de la ciudad de Cúcuta fueron: mortero tipo H 34,98 Mpa, mortero tipo M 13,66 Mpa y mortero tipo S 16,18 Mpa, produciendo un aumento del 55% y 29% en los morteros tipo H y S, sin embargo, se presenta una disminución del 22% en el mortero tipo M, lo cual es debido a la cantidad de cemento utilizada en los cálculos para el diseño de su dosificación, permitiendo así su respectiva corrección.

El análisis de los costos de producción de cada uno de los morteros con agregado fino natural y producido, permitió apreciar un aumento del 58% al costo inicial (mortero convencional) debido al proceso de producción que involucra el agregado liviano, sin embargo, este aumento no es excesivo frente a las propiedades y características que aporta el agregado liviano en las dosificaciones para morteros; ya que mejora su resistencia a la compresión entre 30% -80% de lo estipulado por la norma, disminuye la carga transmitida por elementos no estructurales entre un 14%-27% y presenta alta resistencia al fuego debido al punto de cocción del agregado liviano, protegiendo la estructura durante un periodo de tiempo más largo frente a la de un mortero convencional.

La implementación de los agregados producidos no solo garantizan el comportamiento óptimo de los morteros convencionales mediante características y propiedades únicas como alta resistencia a la compresión, resistencia al fuego, baja densidad, aislamiento termo-acústico gracias a su estructura reticular y poroso, sino que también permitirán de forma directa la recuperación del ecosistema y niveles del caudal afectados, por la explotación legal e ilegal del material natural a lo largo de las cuencas pamplonita y algodonal, logrando una proliferación de especies en vía de extinción y una estabilización en el ciclo ecológico necesaria en el agua para que esta alcance un estado propio de descontaminación y pureza,

garantizando un suministro del recurso en cuanto a calidad y accesibilidad a todo los habitantes del municipio de Ocaña.

Capítulo 6. Recomendaciones

Durante el desarrollo de la investigación se logró apreciar que es de vital importancia realizar una caracterización de las diferentes arcillas involucradas en cada una de las zonas (Cúcuta y Ocaña Norte de Santander), para facilitar su extracción y análisis, permitiendo así la recopilación de datos importantes para su respectiva clasificación en cuanto a su grado de expansión, logrando no solo la ampliación de información en la producción de agregados finos livianos por medio de la sinterización de las arcillas expansivas, sino que también la posible prevención o intervención de llegar a realizarse cualquier obra de ingeniería sobre este tipo de suelos.

Se recomienda en la producción de agregados finos livianos, la utilización de máquinas, equipos e instalaciones conforme a la escala de producción, para garantizar un agregado liviano óptimo y un porcentaje de viabilidad satisfactorio.

Con el fin de garantizar la mayor viabilidad y disponibilidad del agregado liviano a producir y dar solución a la disminución del caudal en los ríos pamplonita y algodonal del municipio de Ocaña, se recomienda en la producción de morteros livianos implementar la arcilla medianamente expansiva del municipio, presente en el barrio hatillo, debido a su óptimo comportamiento frente al ensayo de resistencia mecánica y menor costo en su producción, extracción y transporte.

Dados los resultados obtenidos por el ensayo de resistencia a la compresión que presentaron los distintos morteros con agregados livianos, se sugiere no solo la implementación de estos en procesos como mampostería y acabados, sino analizar su comportamiento siendo aplicados en las dosificaciones de concretos hidráulicos para

cimentación y elementos estructurales, rehabilitación de hormigones e impermeabilización y estabilización de taludes.

Se recomienda realizar de nuevo el ensayo de resistencia a la compresión al mortero liviano tipo M con arcilla expandida de Cúcuta, utilizando la siguiente dosificación: 1 cemento, 1.88 de arcilla expandida y 0.86 de agua, garantizando la resistencia óptima por la NSR-10.

Referencias

Resolución 00056, *Por la cual se suspende temporalmente las actividades de explotación de material de arrastre de unos sectores de los ríos Pamplonita y Algodonal, Ocaña*, 01/Feb/2016.

Anónimo. (02 de 05 de 2017). *Saint-Gobain*. recuperado de Saint-Gobain:
<https://www.weber.es/soluciones-ligeras-con-arlitareg-lecareg.html>

Schmidt, H. (1971). La producción y utilización de granulos de arcilla expandida en la literatura ramo. En *Materiales de construcción*, 21, pp. 463-467.

Díaz Rodríguez, L., & Torrecillas, R. (2002). Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. *Boletín De La Sociedad Española De Cerámica Y Vidrio.*, 41(5), pp 459-460.

López Lara, T., Hernández Zaragoza, J., Rangel, J., Coronado Márquez, A., & Castillo Meneses, V. (2010). Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas. *Revista Iberoamericana De Polímeros*, 11(3), pp 159.

Hou Huang, D., Caicedo Chica, J., & Falconi Pincay, A. (2009). *Hormigones livianos de alto desempeño* (Tesis pregrado). Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil.

Muñoz Echaves, J., Muñoz Menesea, R., Mancil, P., & Rodríguez Páez, J. (2007). Estudio del procesamiento cerámico de las arcillas de la vereda La Codicia (Guapi, Colombia) para potencializar su uso en la elaboración de piezas cerámicas. *Revista Facultad*

De Ingeniería Universidad De Antioquia, 42, pp 68-78. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302007000400005

Salamanca Correa, R. (2001). *La tecnología de los morteros*. pp. 41-48. Ciencia e Ingeniería Neogranadina.

Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR10.

Ipohorski, M. (2011). Una mirada al microscopio electrónico de barrido. *Ieds*, 4, pp 51-52. Recuperado de http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/images/extras/hojitas_conocimiento/materiales/51_52_ipohorski_microscopio.

Yagual Vera, D., & Villacis Apolinario, D. (2015). *Hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida* (Tesis pregrado). Universidad estatal península de Santa Elena, La libertad.

Valdez Guzman, L., & Suarez Alcivar, G. (2010). *Hormigones livianos* (Tesis pregrado). Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil.

Merino, M., Astorqui, J., & Gonzales Cortina, M. (2005). *Morteros aligerados con arcilla expandida: influencia de la granulometría y adición de fibras de vidrio AR en el comportamiento mecánico*. 57, pp. 40-46.

Muñoz Rupierez, C., Rodriguez, A., Gutierrez Gonzales, S., & Calderon, V. (2016). Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates. *Construction And Building Materials*, pp 139-145.

Schackow, A., Stringari, D., Senff, L., Correa, S., & Segadaes, A. (2015). Influence of fired clay brick waste additions on the durability of mortars. *Cement And Concrete Composites*, pp 82-89.

Armayo Cruz, G., Buncuga, V., Cahuape Casaux, M., Forgione, F., & Navarrete, A. (2003). *Hormigones con agregados livianos* (Tesis pregrado). Departamento de mecánica aplicada y estructuras.

Ferreira, T., Osorio Siazaz, J., Fiorotti Peixoto, R., Oliveira de Paula, M., & Gates, R. (2010). Elaboración y evaluación de placas prefabricadas de concreto aligerado con arcilla expandida para uso como coberturas de estructuras pecuarias. *Facultad Nacional De Agronomía, Medellín*, 63(2), pp5651-5660.

Bueno Quintero, D. (2015). *Comparación de cuantías de materiales de construcción para estructuras aporticadas y de sistema combinado en concreto convencional vs concreto liviano de acuerdo con lo indicado en el reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10*. (Tesis magister). Escuela Colombiana de ingenierías Julio Garavito, Bogotá.

Martínez Pineda, D. (2010). *Concreto liviano estructural con arcilla expandida térmicamente extraída de canteras localizadas en el sur de la sabana de Bogotá* (Tesis magister). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Muñoz Ruiperez, C. (2015). *Propiedades físicas y durabilidad e morteros aligerados con arcilla expandida y agregados con áridos reciclados*. (Tesis doctorado). Universidad de Burgos, Escuela politécnica superior, Burgos

Bowles, J. E. (1961). Límite de contracción. En J. E. Bowles, *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. (pág. 27). México D.F.

Bowles, J. E. (1961). Análisis granulométrico- método del hidrómetro. En J. E. Bowles, *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. (pág. 47-48). México D.F.

Apéndices

Apéndice A. Laboratorio realizados para la clasificación de las arcillas.

Contenido de humedad. Según la norma INV E-122-07, el ensayo consiste en tomar tres recipientes enumerados y pesados, en cada uno de estos añadir la muestra de arcilla previamente almacenada para mantener su humedad natural, que luego es pesada obteniendo el peso húmedo de la misma, después cada muestra es llevada el horno a una temperatura de 105 °C durante 18 horas, al cumplir este tiempo se saca la muestra del horno y se vuelve a pesar para así obtener su peso seco. Dicho procedimiento fue realizado para ambas muestras.



Figura 57. Contenido de Humedad de las muestras Ocaña- Cúcuta.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Límite líquido. Según la norma INV E-125-07, se toma cierta cantidad de la muestra previamente disgregada y pasada por el tamiz # 40, dicha cantidad es depositada en una tara para luego adicionar agua de forma gradual y ser mezclada mediante una espátula, la cual al presentar una apariencia consistente es llevada hacia la cazuela de casa grande en la cual mediante la polea y el ranurador son calculados el número de golpes, a su vez son tomados cuatro recipientes ya pesados y enumerados en los cuales se depositaran una fracción de la

muestra después de haber alcanzado el número de golpes requeridos los cuales aumentaran con la adición de muestra y disminuirán con la adición de agua.

Luego cada fracción de la muestra es pesada obteniendo su peso húmedo y su peso seco mediante la exposición a temperatura de 105°C en el horno durante 18 horas. Dicho procedimiento fue realizado para ambas muestras.



Figura 58. Límite líquido de las muestras Ocaña-Cúcuta.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Límite plástico. Según la norma INV E-126-07, el ensayo consiste en disgregar la muestra y pasarla por el tamiz #40, luego se le va adicionando agua hasta que tenga una textura consistente, se toma una pequeña porción de la muestra y se hacen rollitos con diámetro de 3 mm, hasta que esta se empiece a fracturar. Luego se toman tres recipientes los cuales están pesados y enumerados y se depositan las muestras fracturadas para así obtener el peso

húmedo, inmediatamente se lleva al horno a una temperatura de 105°C durante 18 horas, para adquirir el peso seco. Dicho procedimiento fue realizado para ambas muestras.



Figura 59. Límite plástico de las muestras Ocaña-Cúcuta.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Límite de contracción. Según la norma INV E-127-07, la muestra utilizada para este ensayo debe presentar una consistencia moldeable la cual se logra después de haber pasado el material disgregado por el tamiz # 40 y ser adicionada agua de forma gradual, a su vez fue necesario un recipiente metálico previamente pesado, marcada y lubricado para impedir la adherencia de la muestra, en el cual se va agregando muestra y apisonando esta con golpes en el mesón de trabajo sobre una capa suave de papel o tela para así retirar los espacios vacíos que se puedan formar, luego es enrasado dicho recipiente con la muestra y pesado para obtener el peso húmedo del espécimen. Posteriormente es llevada al horno a una temperatura de 105°C durante 18 horas para así obtener su peso seco.

El siguiente paso requiere de precaución ya que involucra la manipulación del mercurio, se deposita el recipiente metálico dentro de una tara y se le vierte el mercurio esto con el fin de que no hallan pérdidas del mismo hecho este paso se introduce la galleta ya seca

y se presionada por una placa de vidrio, se retira y se pesa de nuevo el recipiente con la pérdida del mercurio. Dicho procedimiento fue realizado para ambas muestras.



Figura 60. Límite de contracción.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Presión de expansión Lambe. Según la norma INV E-120-07, el procedimiento del ensayo consiste en obtener un número de capas y un número de golpes dependiendo la humedad de la muestra la cual fue disgregada y pasada por el tamiz #10 siendo tomada esta como una muestra húmeda para el ensayo, por lo tanto, va a tener 3 capas cada una con 4 golpes. Luego de tener la compactación de la muestra en el anillo se pesa y se realiza el montaje de este en el aparato de lambe, el cual estará previamente calibrado con una lectura inicial dial de 1,2 mm y que a su vez estará sujeto a un volumen de agua contenido por un segundo anillo de pasta permitiendo la absorción y expansión de la muestra después de un tiempo de 2 horas.

Luego es necesario pesar la muestra tan pronto pasen las dos horas mencionadas para obtener su peso húmedo y su respectivo peso seco después de ser expuesta durante 18 horas en un horno a 105°C. Dicho procedimiento fue realizado para ambas muestras.



Figura 61. Presión de expansión de Lambe de las muestras Ocaña-Cúcuta.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Expansión libre en pobreta. Según la norma INV E 132-07, para el ensayo fueron utilizadas dos probetas cada una de 100ml de agua y ACPM respectivamente, en cada una de estas fueron depositados 13 g de la muestra en estado seco previamente disgregada y pasada por el tamiza # 40 durante un tiempo de 24 horas. Dicho procedimiento fue realizado para ambas muestras.



Figura 62. Expansión libre en probeta.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Gravedad específica de los sólidos. Según la norma INV E-128-07, para el ensayo primero se disgrega la muestra y se pasa por el tamiz # 40 obteniendo una cantidad de 100 g. Teniendo esta muestra se mezcla con agua durante 10 minutos para homogeneizar esta, luego se deposita en un picnómetro y se coloca a baño maría hasta alcanzar una temperatura de 80 °C. Se deja enfriar durante una hora y se deposita en una tara, donde esta va dirigida al horno durante 18 horas a una temperatura de 105°C.



Figura 63. Gravedad específica.

Nota fuente. Autores de proyecto.

Análisis granulométrico por medio del hidrómetro. Según la norma INV E-124-07, se disgrega la muestra y se pasa por el tamiz #10 obteniendo una cantidad de 50 g. Esta muestra se introduce en el horno y se deja secar durante un tiempo de 24 horas con una temperatura de 105 °C. Luego se prepara una solución de 150 g de Hexametáfosfato sódico, 375 ml de agua y a cada muestra de 50 g se le adiciona 125 ml de esta solución. Se deja reposar durante un tiempo de 24 horas y se mezcla durante 10 minutos para introducir esta mezcla en una probeta de 1000 ml. Teniendo esto se van tomando diferentes lecturas con el hidrómetro a diferentes tiempos.



Figura 64. Granulometría por medio del hidrómetro de las muestras Cúcuta-Ocaña.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Apéndice B. Procedimiento para realizar el agregado liviano.

Disgregación de las diferentes muestras de arcilla expansiva.



Figura 65. Disgregación de las muestras de arcillas Cúcuta-Ocaña.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Cálculo de la relación (agua-materia orgánica-suelo) para la preparación de las probetas.



Figura 66. Relación (agua-materia orgánica-suelo).

Nota fuente. Autores del proyecto.

Realización de las probetas con la mezcla anterior la cual es (suelo-materia orgánica-agua).



Figura 67. Encofrado y desencofrado de las probetas.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Exposición de las probetas a la temperatura de 1200 °C para garantizar su sinterización.



Figura 68. Mufla que alcanza la temperatura de 1200°C.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Probetas sinterizadas después de haber sido expuestas a una temperatura de 1200°C.



Figura 69. Probetas sinterizadas de las muestras Cúcuta-Ocaña.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Trituración de las probetas para obtener el tamaño deseado (agregado fino liviano).



Figura 70. Agregado fino (liviano) de las muestras de Cucuta-Ocaña.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Apéndice C. Ensayos realizados al agregado fino natural y sinterizado.

Granulometría. Según la norma NTC 77, se toman 500 g del material y se pasan por los tamices (#4, #8, #16, #30, #50, #100, #200), luego se pesa la cantidad de material retenido en cada tamiz para la realización de los cálculos.



Figura 71. Granulometría de la arcilla expandida de Ocaña.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 72. Granulometría de la arcilla expandida de Cúcuta.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 73. Granulometría de la arena del río Algodonal.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Masa unitaria suelta y compactada. Según la norma NTC 92, para realizar la masa unitaria suelta se toma un molde de forma cilíndrica con volumen conocido y se introduce la muestra hasta llenar el molde y se obtiene el peso correspondiente. Para realizar la masa unitaria compactada se toma un molde de forma cilíndrica con volumen conocido y se introduce la muestra, pero en 3 capas y cada una de estas recibe 25 golpes con una varilla lisa de punta redondeada de 5/8" y se obtiene el peso correspondiente.

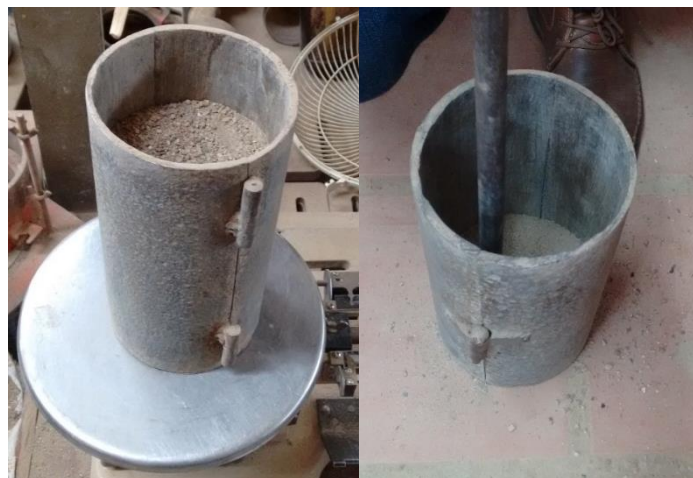


Figura 74. Masa unitaria suelta y compactada de la arena del río Algodonal.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 75. Masa unitaria suelta y compactada de la arcilla expandida de Cúcuta.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 76. Masa unitaria suelta y compactada de la arcilla expandida de Ocaña.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Densidad y absorción del agregado fino. Según la norma NTC 237, se toma 1 kg de muestra y se introduce en una tara con agua dejándolo durante 24 horas, al cumplir este tiempo se decanta el agua y se hace el ensayo para determinar si la muestra si está saturada superficialmente seca.



Figura 77. Muestra saturada superficialmente seca de la arena del rio Algodonal.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 78. Muestra saturada superficialmente seca de la arcilla expandida de Cúcuta.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 79. Muestra saturada superficialmente seca de la arcilla expandida de Ocaña.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Teniendo la muestra en esta condición se procede a obtener el peso del picnómetro, picnómetro más agua, la cantidad de agua hasta la calibración y el peso del picnómetro más el peso de la muestra más el peso del agua. Luego se coloca la muestra más el agua en una tara y se deja secar en el horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas.



Figura 80. Picnómetro más agua hasta la calibración de la arcilla expandida de Ocaña.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 81. Picnómetro más agua hasta la calibración de la arcilla expandida de Cúcuta.
Nota fuente. Autores del proyecto.

Apéndice D. Ensayo de resistencia a la compresión para morteros.

Para realizar el ensayo de resistencia a la compresión se utilizaron diferentes materiales tales como: Cemento más por menos, arena del río algodónal, arcilla expandida de Ocaña, arcilla expandida de Cúcuta y agua. El procedimiento para ejecutarlo se presenta a continuación.



Figura 82. Cemento más por menos.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 83. Cemento-Arcilla expandida Cúcuta.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 84. Cemento-Arcilla expandida Ocaña.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 85. Moldes (5cmx5cmx5cm)

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 86. Mezcla de mortero.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 87. Llenado de los moldes con la mezcla de mortero.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 88. Cubos de los diferentes tipos de morteros.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 89. Agua con cal.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 90. Almacenamiento de cubos.

Nota fuente. Autores del proyecto.



Figura 91. Ensayo de resistencia a la compresión de morteros.

Nota fuente. Autores del proyecto.

Apéndice E. Formatos del ensayo de resistencia a la compresión de morteros.


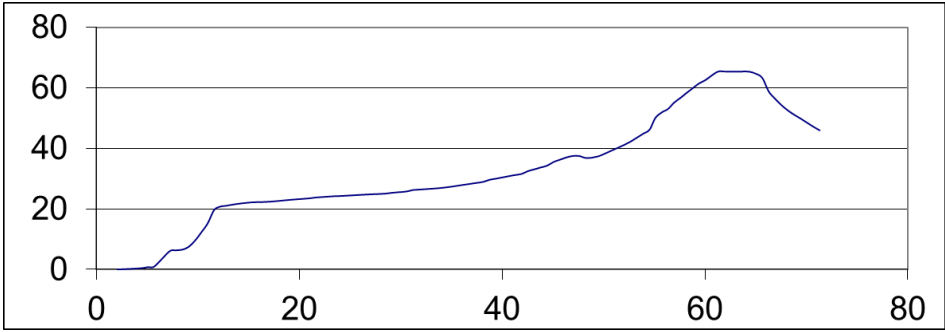
 <p>Universidad Francisco de Paula Santander Laboratorio de resistencia de materiales y sismica</p>																
Resistencia a la compresion de morteros																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Material</td> <td colspan="3">Mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña</td> </tr> <tr> <td>Fecha de muestreo</td> <td>08/08/2017</td> <td></td> <td>Fecha de recepcion</td> <td>17/08/2017</td> </tr> <tr> <td>Resistencia nominal</td> <td>22.5 Mpa</td> <td></td> <td>Vel de ensayo</td> <td>3 mm/min</td> </tr> </table>	Material	Mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña			Fecha de muestreo	08/08/2017		Fecha de recepcion	17/08/2017	Resistencia nominal	22.5 Mpa		Vel de ensayo	3 mm/min		
Material	Mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña															
Fecha de muestreo	08/08/2017		Fecha de recepcion	17/08/2017												
Resistencia nominal	22.5 Mpa		Vel de ensayo	3 mm/min												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Numero de series</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Dimensiones</td> <td></td> </tr> <tr> <td>a (mm)</td> <td>50.40</td> </tr> <tr> <td>b (mm)</td> <td>50.30</td> </tr> <tr> <td>c (mm)</td> <td>50.00</td> </tr> <tr> <td>Area (mm²)</td> <td>2535.12</td> </tr> <tr> <td>Carga maxima (KN)</td> <td>65.40</td> </tr> <tr> <td>Resistencia real (Mpa)</td> <td>25.80</td> </tr> </table>	Numero de series	1	Dimensiones		a (mm)	50.40	b (mm)	50.30	c (mm)	50.00	Area (mm²)	2535.12	Carga maxima (KN)	65.40	Resistencia real (Mpa)	25.80
Numero de series	1															
Dimensiones																
a (mm)	50.40															
b (mm)	50.30															
c (mm)	50.00															
Area (mm²)	2535.12															
Carga maxima (KN)	65.40															
Resistencia real (Mpa)	25.80															
																
Gráfico de esfuerzo Vs tiempo																
Observaciones: Ninguna																

Figura 92. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña a los 7 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

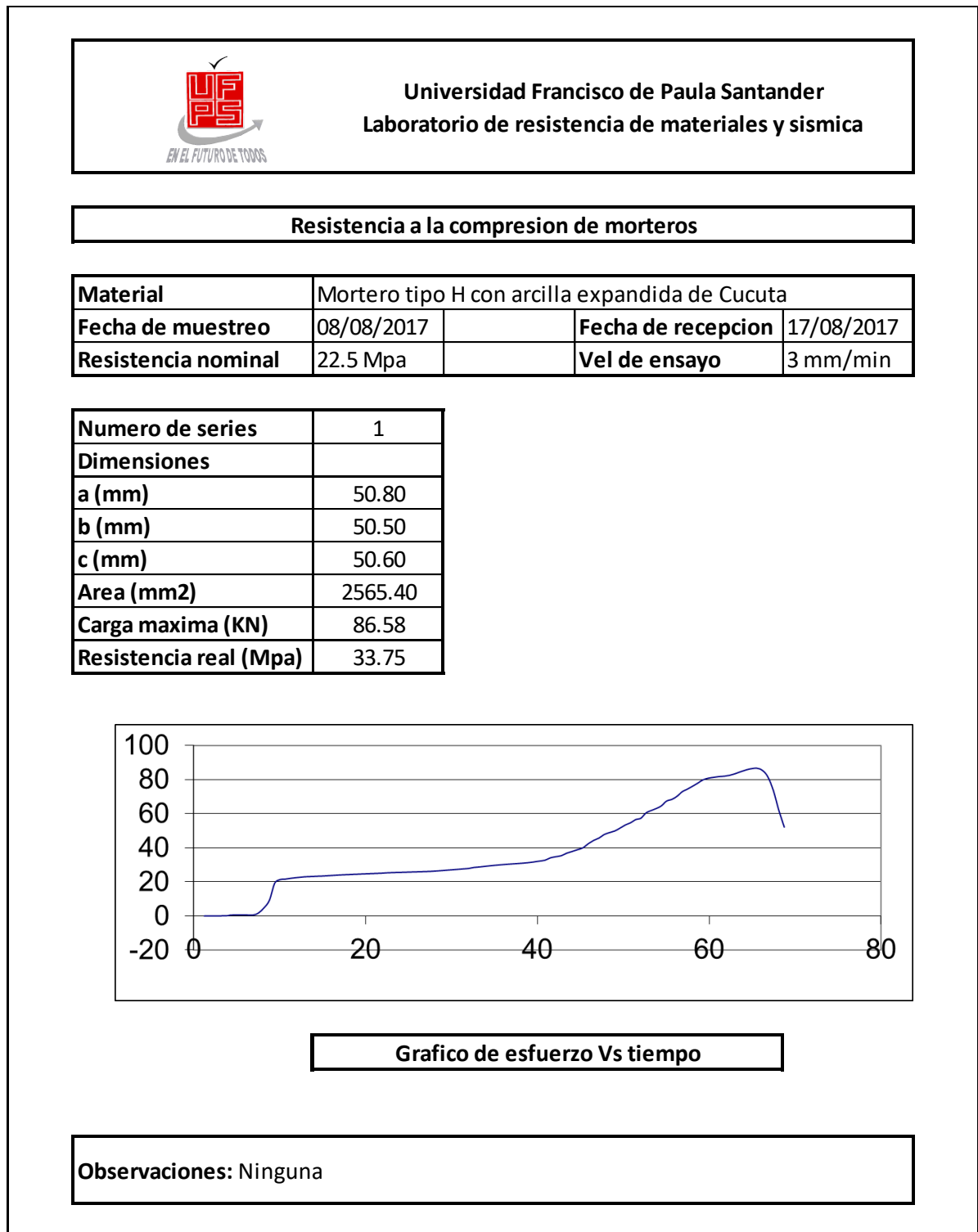


Figura 93. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Cucuta a los 7 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

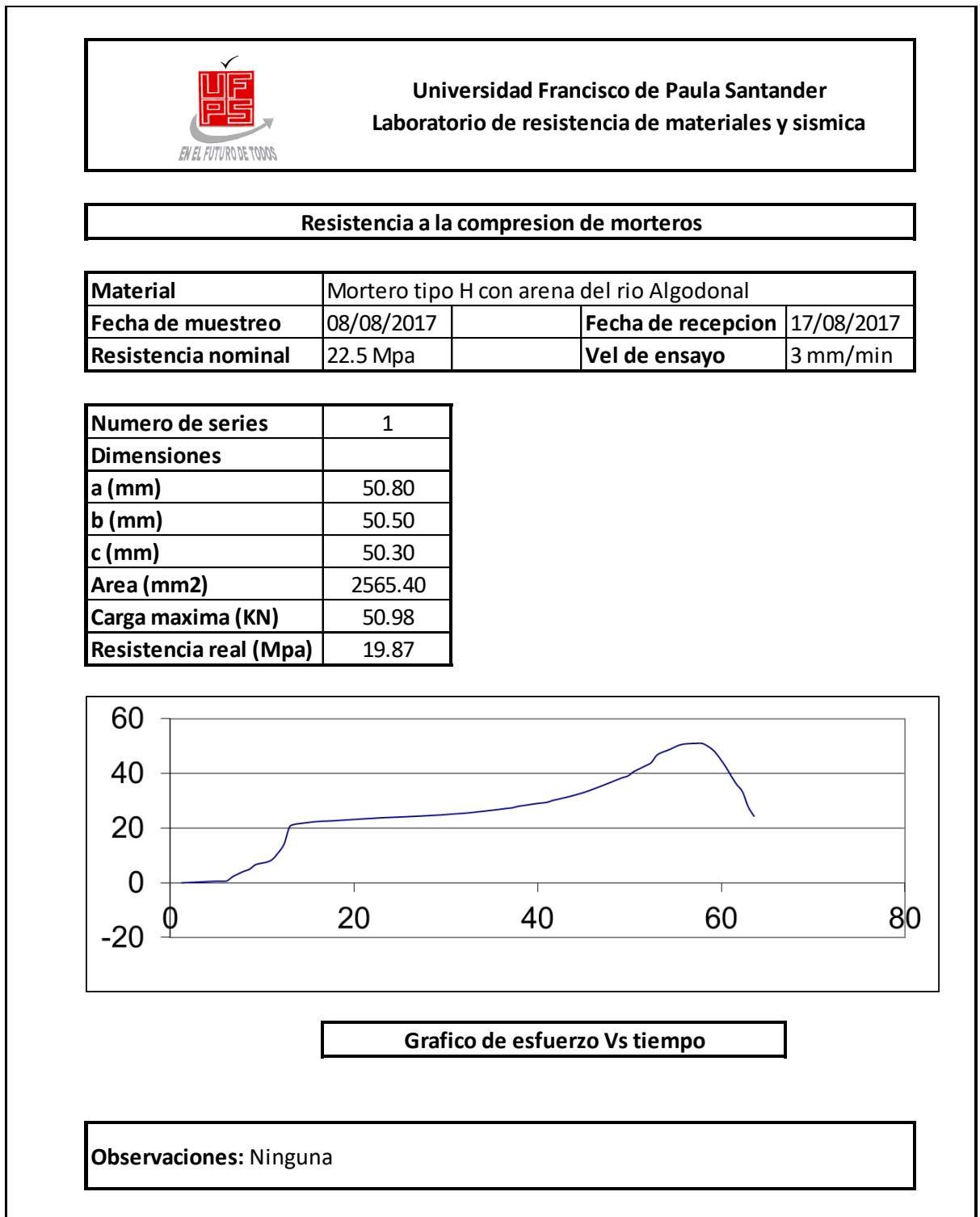


Figura 94. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arena del rio Algodonal a los 7 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

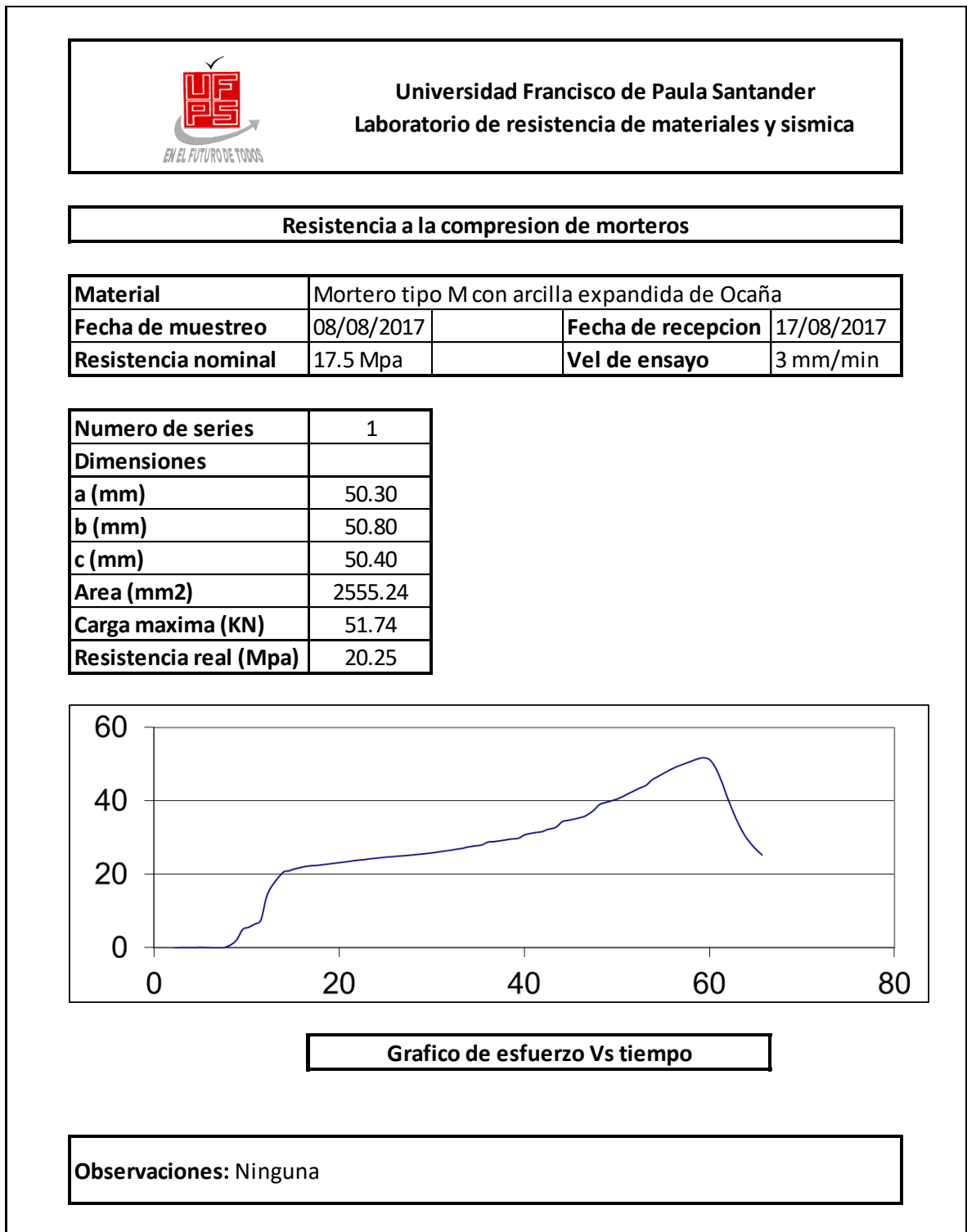


Figura 95. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña a los 7 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

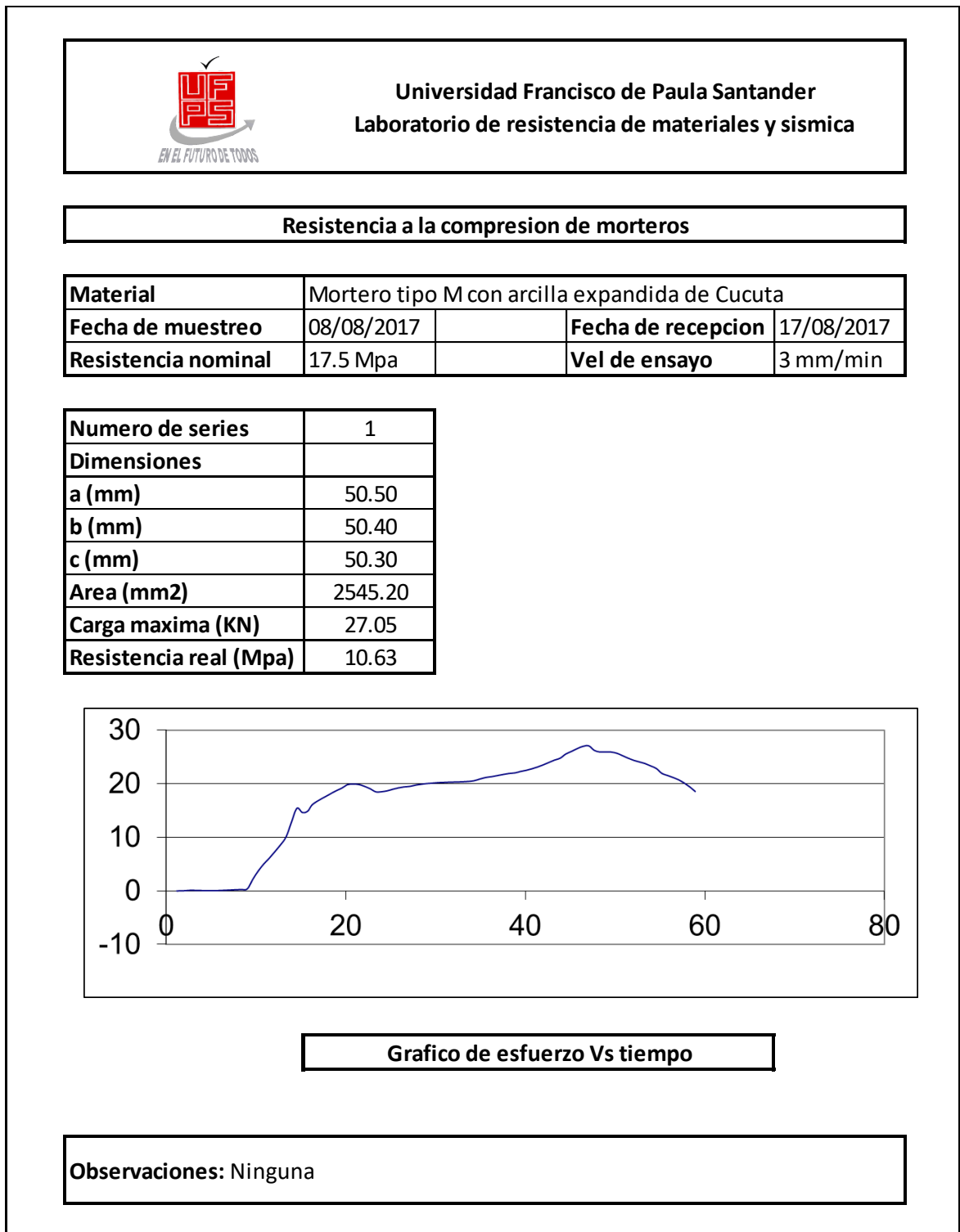


Figura 96. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta a los 7 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

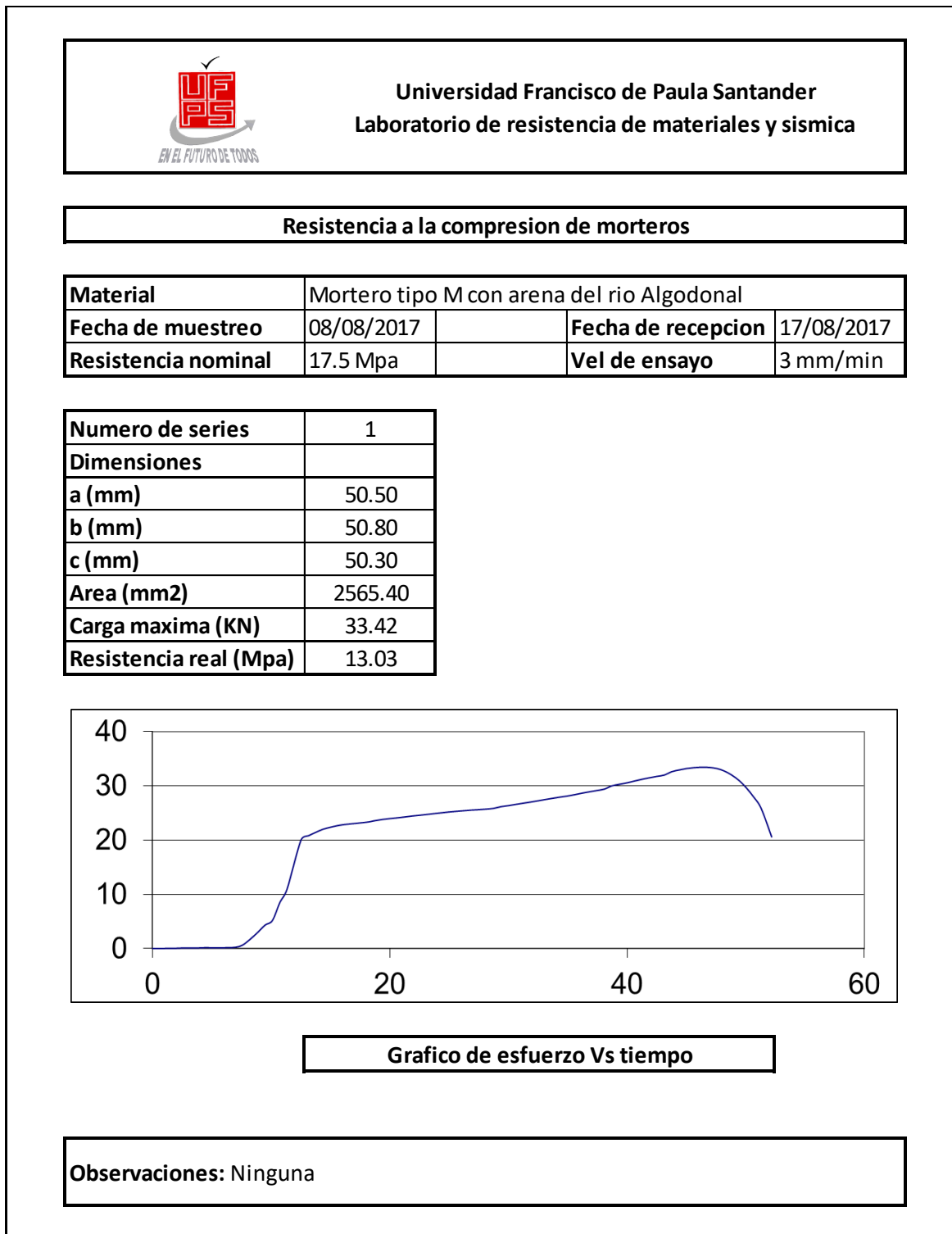


Figura 97. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arena del rio Algodonal a los 7 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

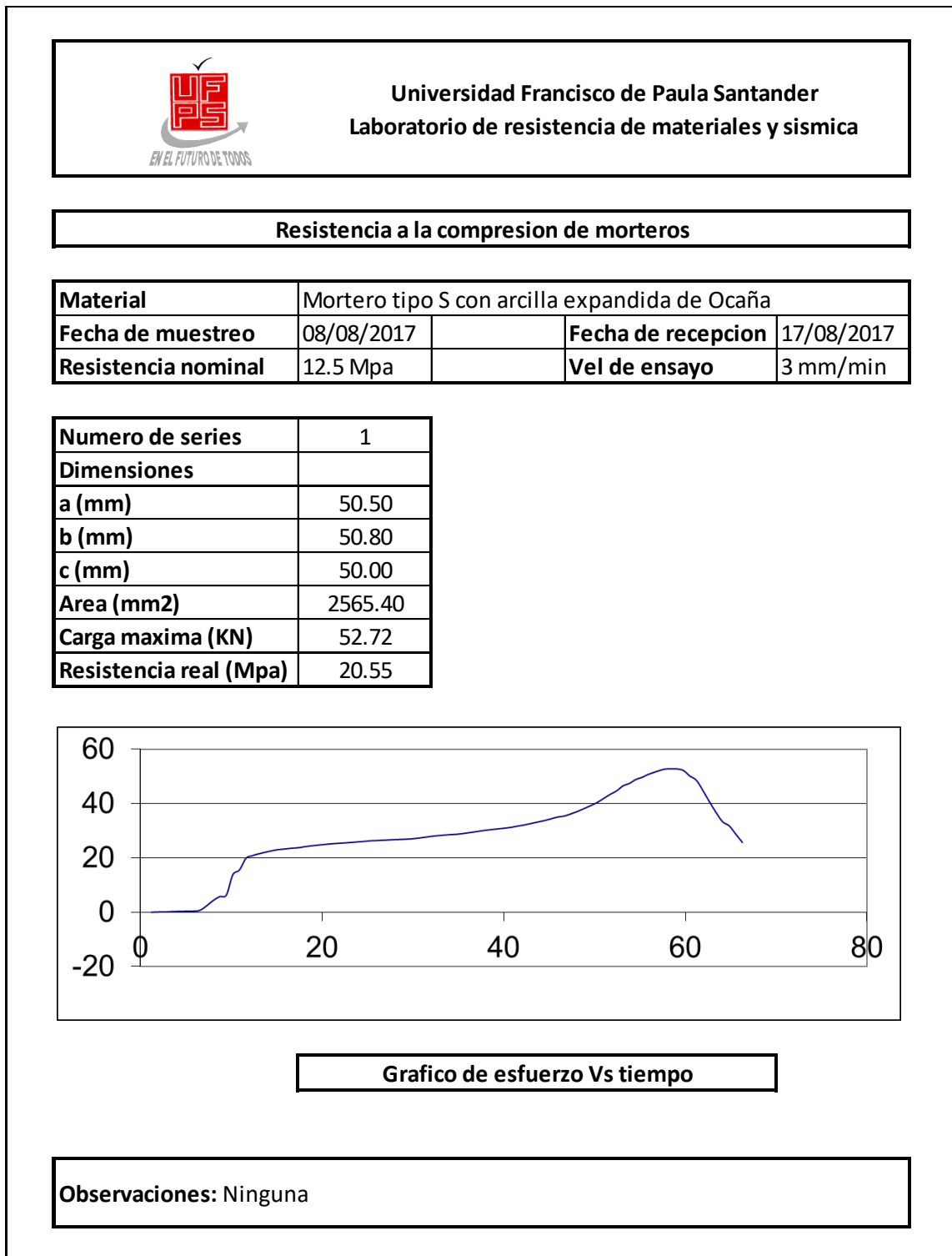


Figura 98. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña a los 7 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

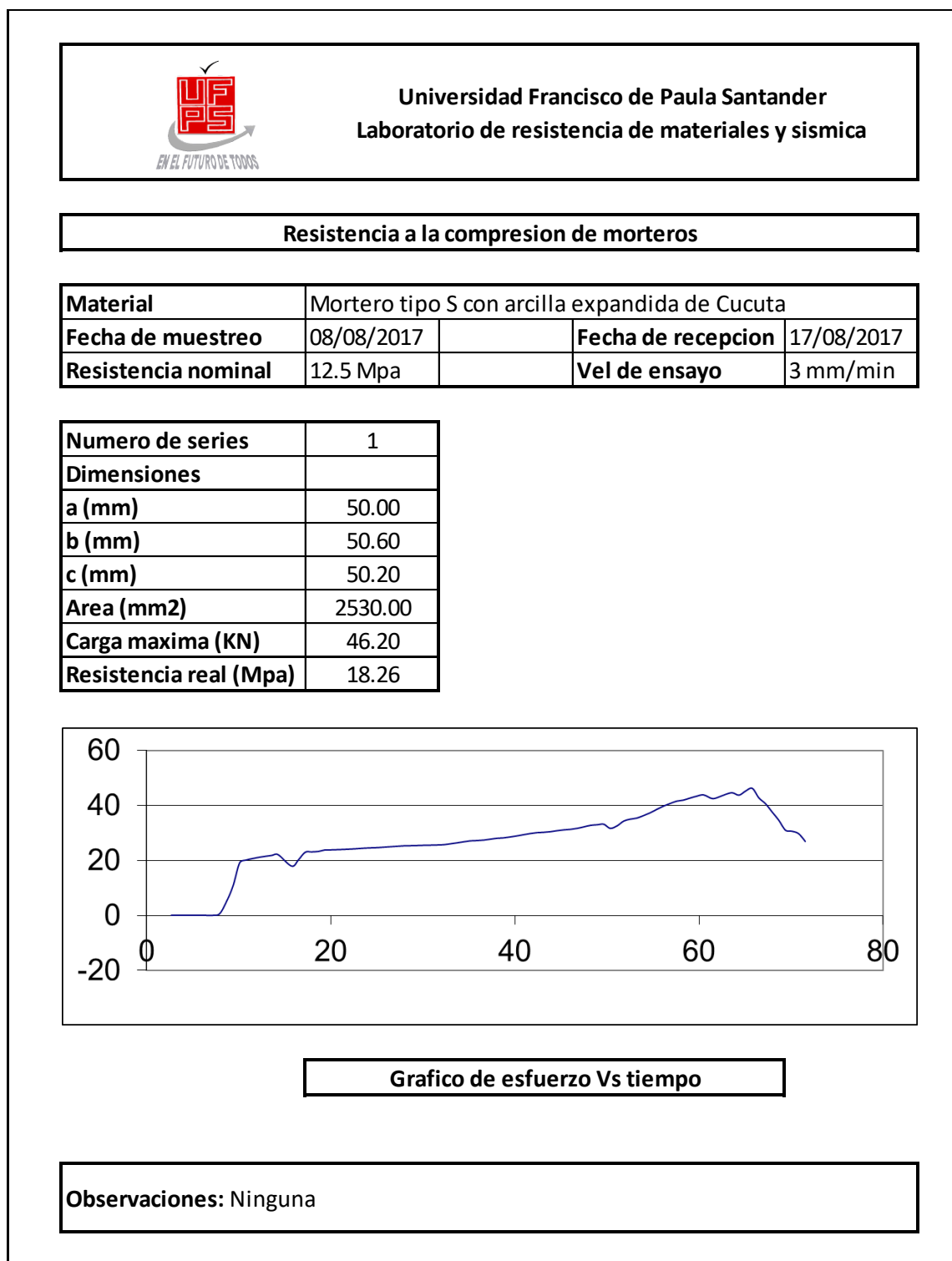


Figura 99. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta a los 7 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

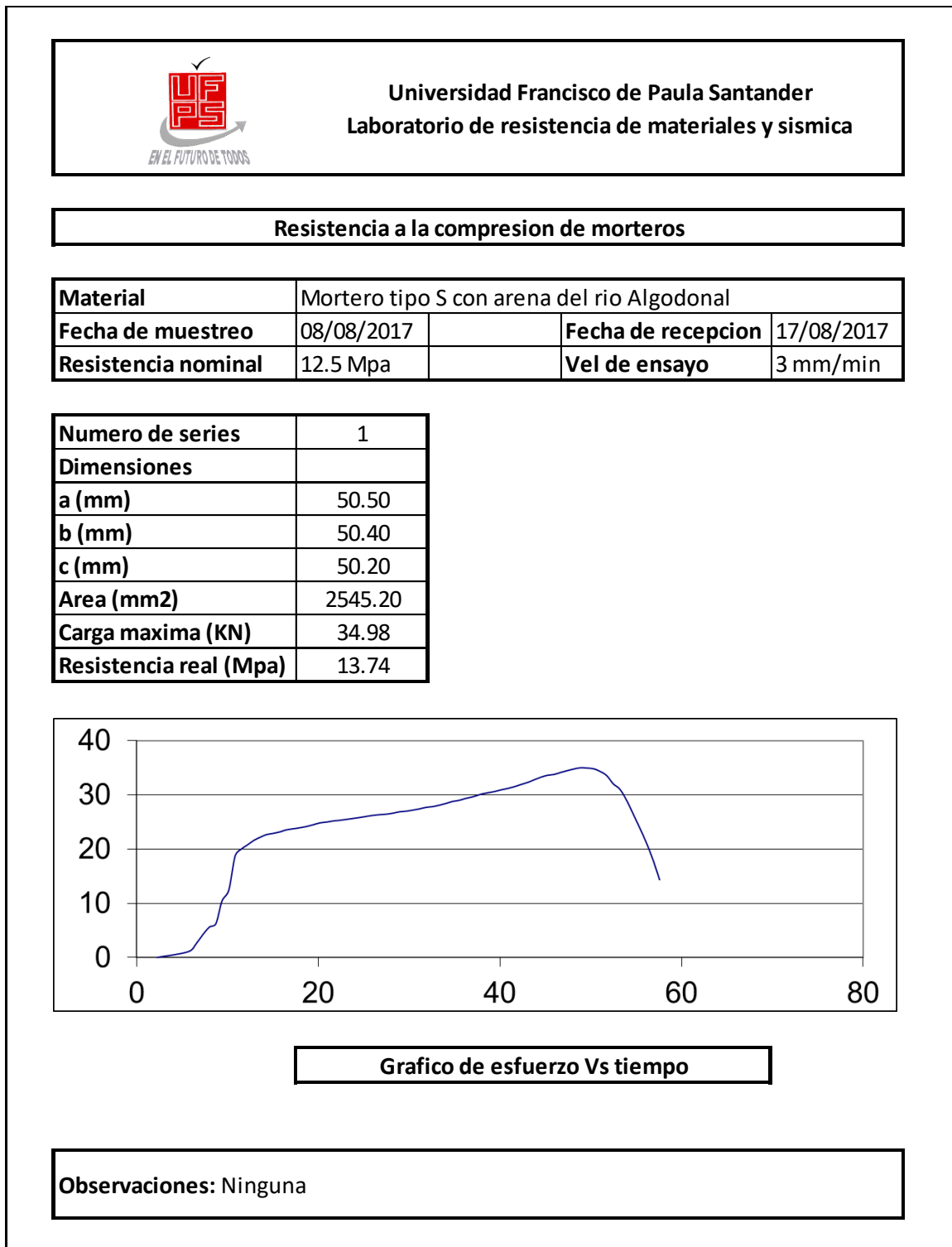


Figura 100. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arena del rio Algodonal a los 7 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

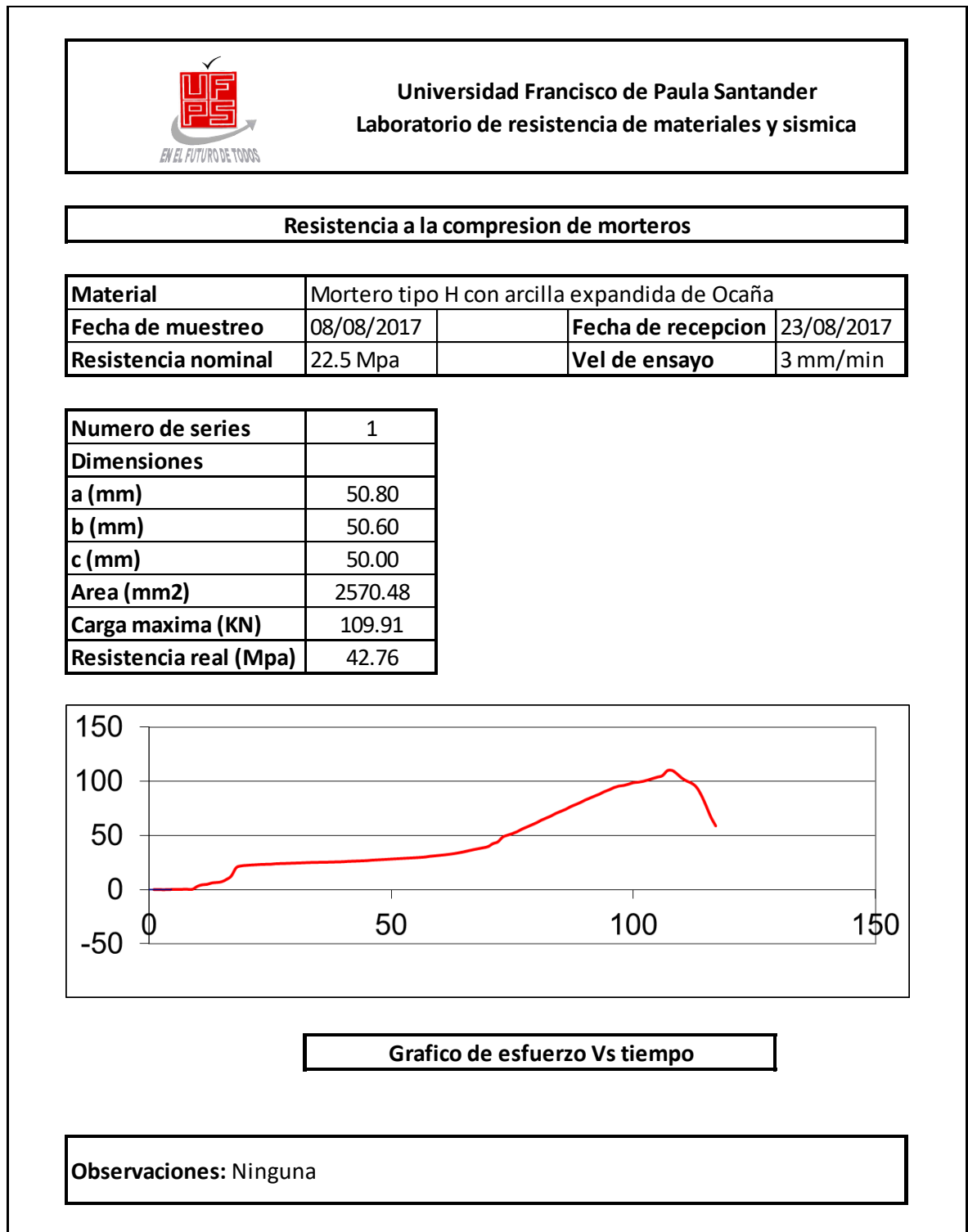


Figura 101. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña a los 14 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

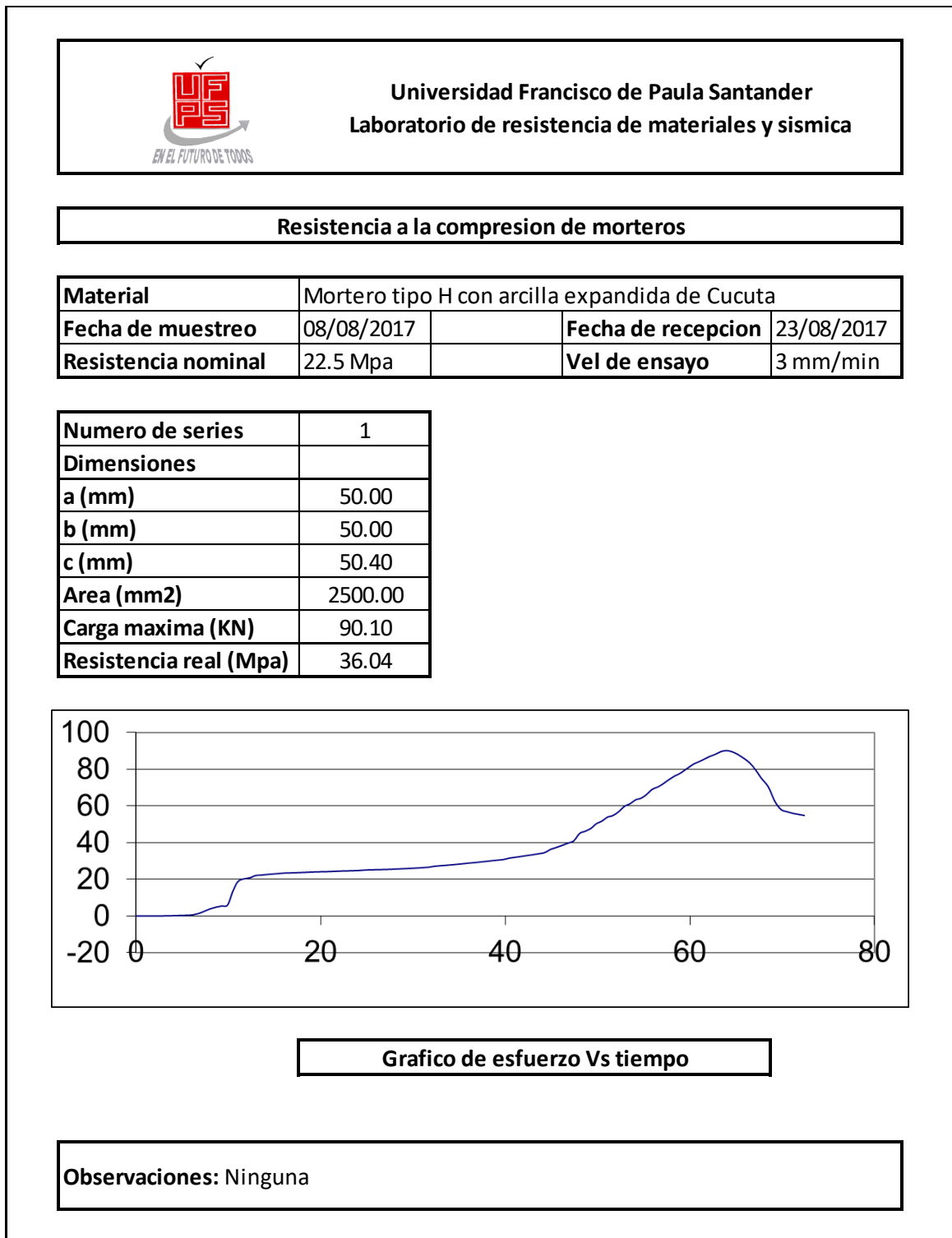


Figura 102. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Cúcuta a los 14 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

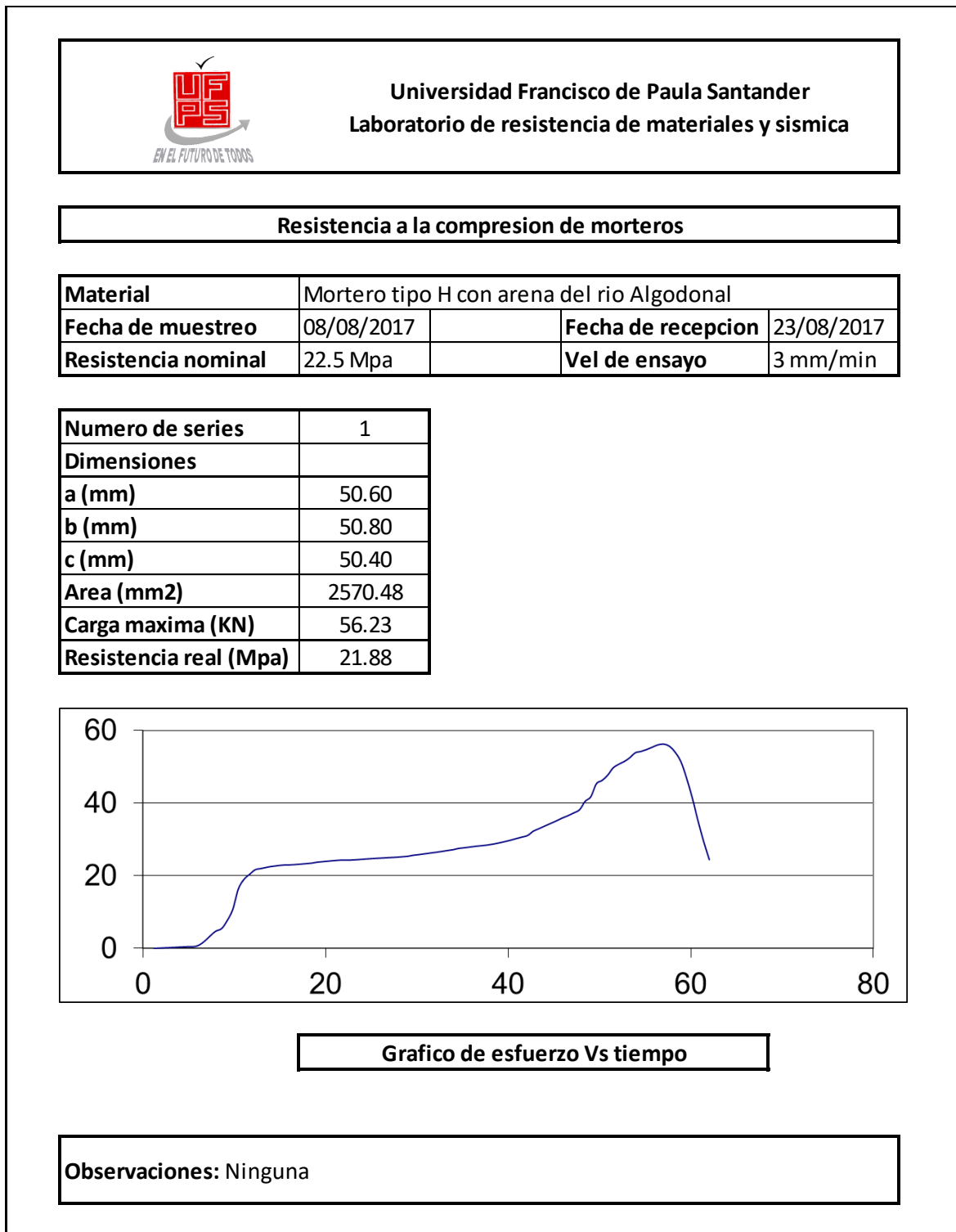


Figura 103. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arena del rio Algodonal a los 14 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

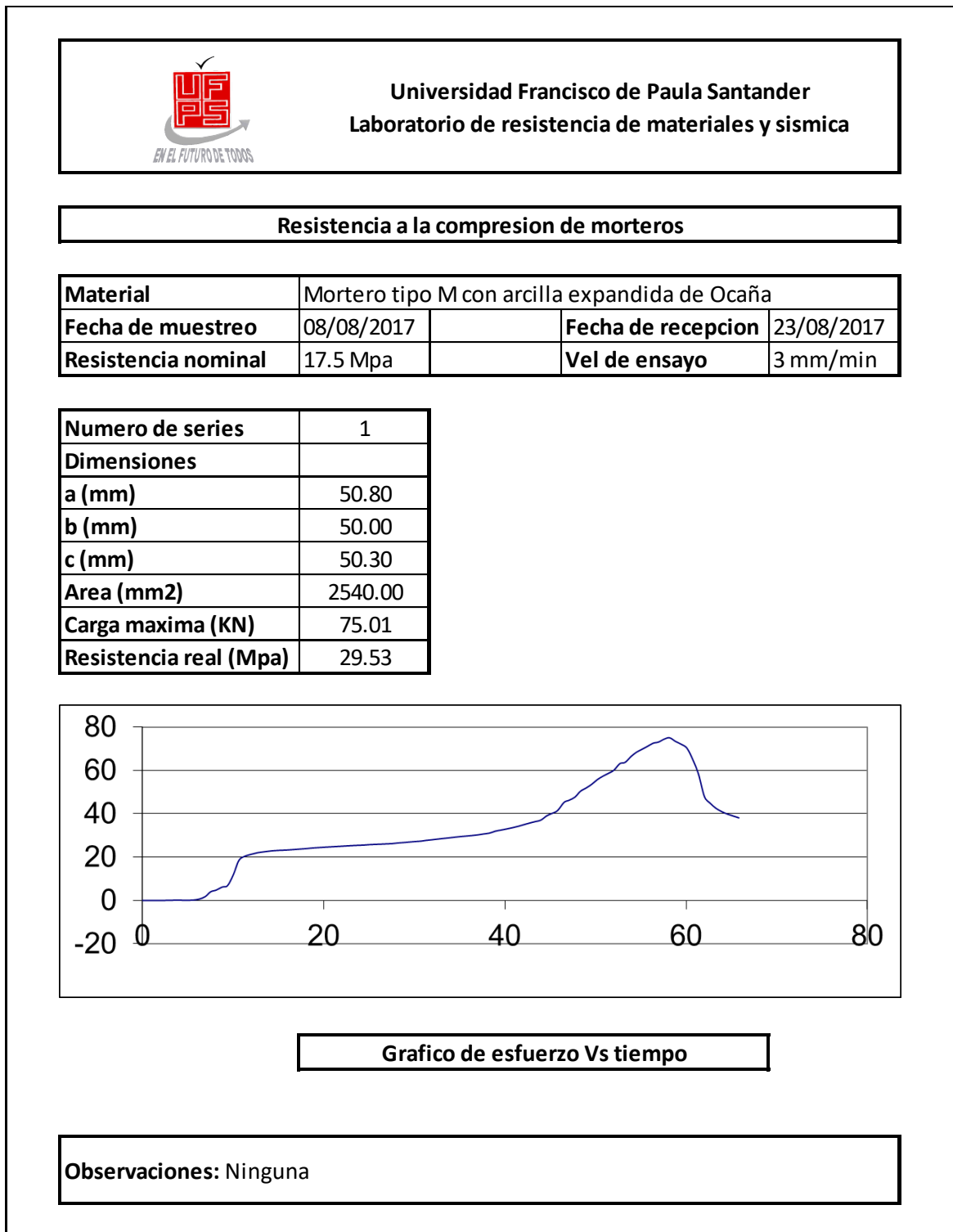


Figura 104. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña a los 14 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

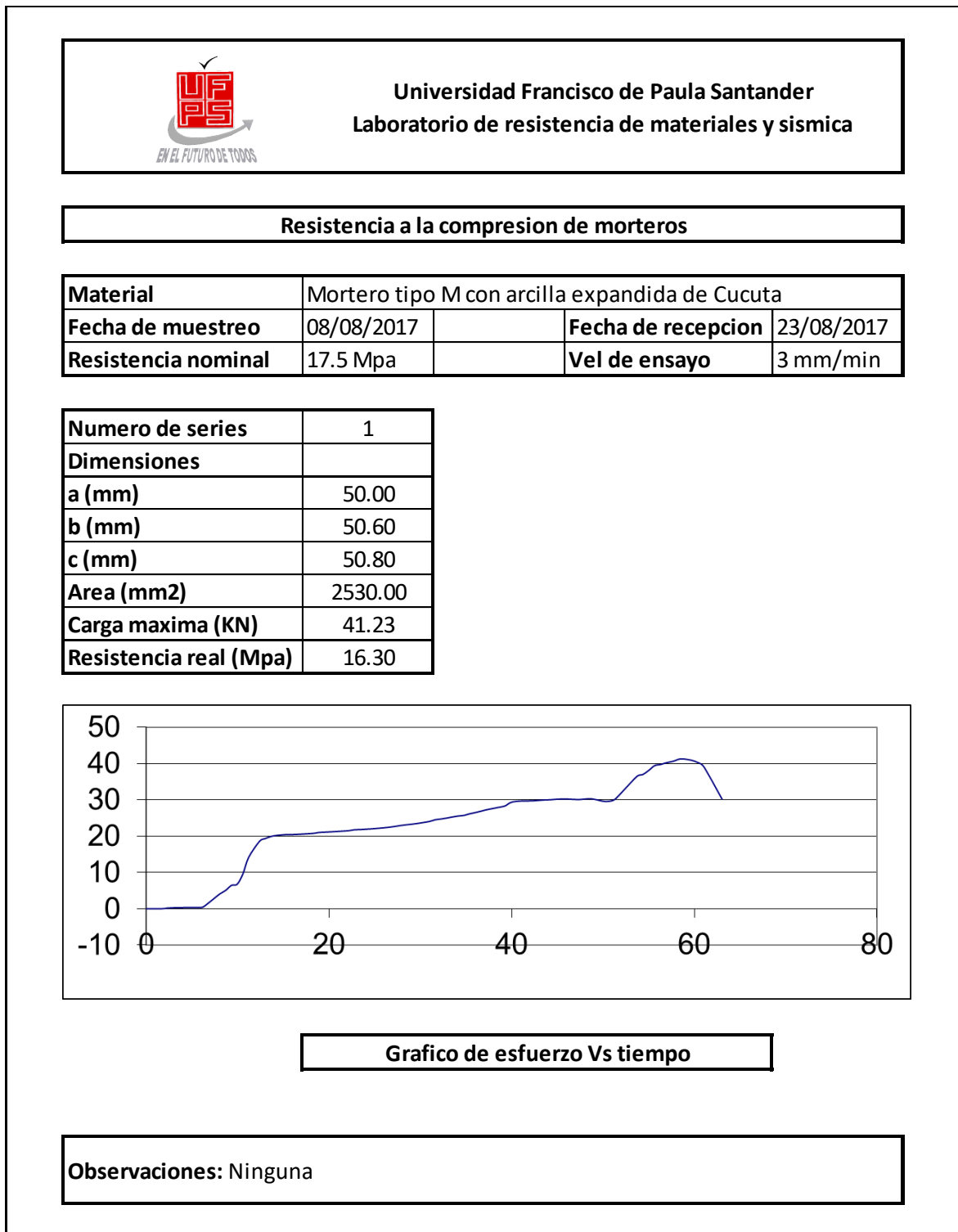


Figura 105. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta a los 14 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

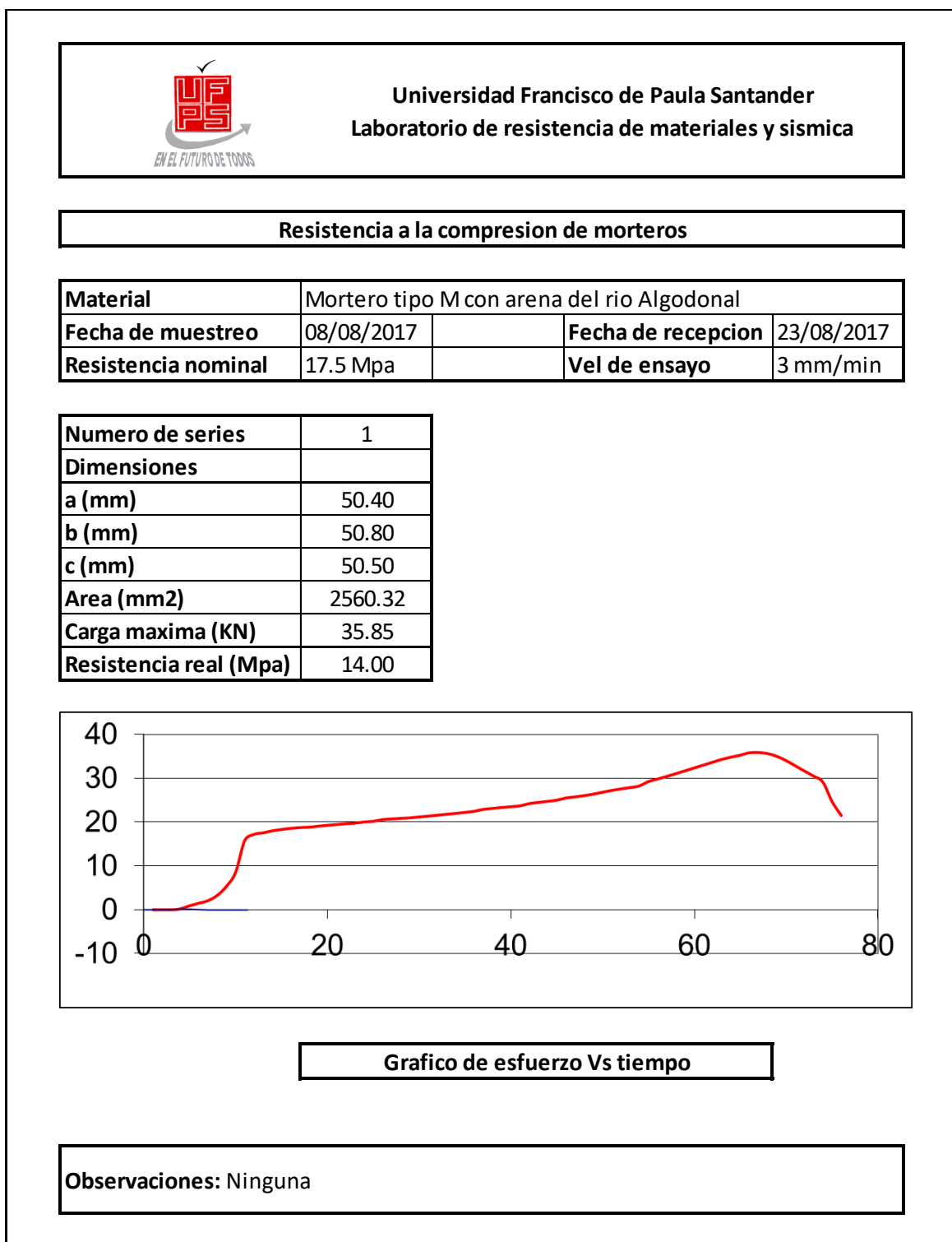


Figura 106. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arena del rio Algodonal a los 14 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

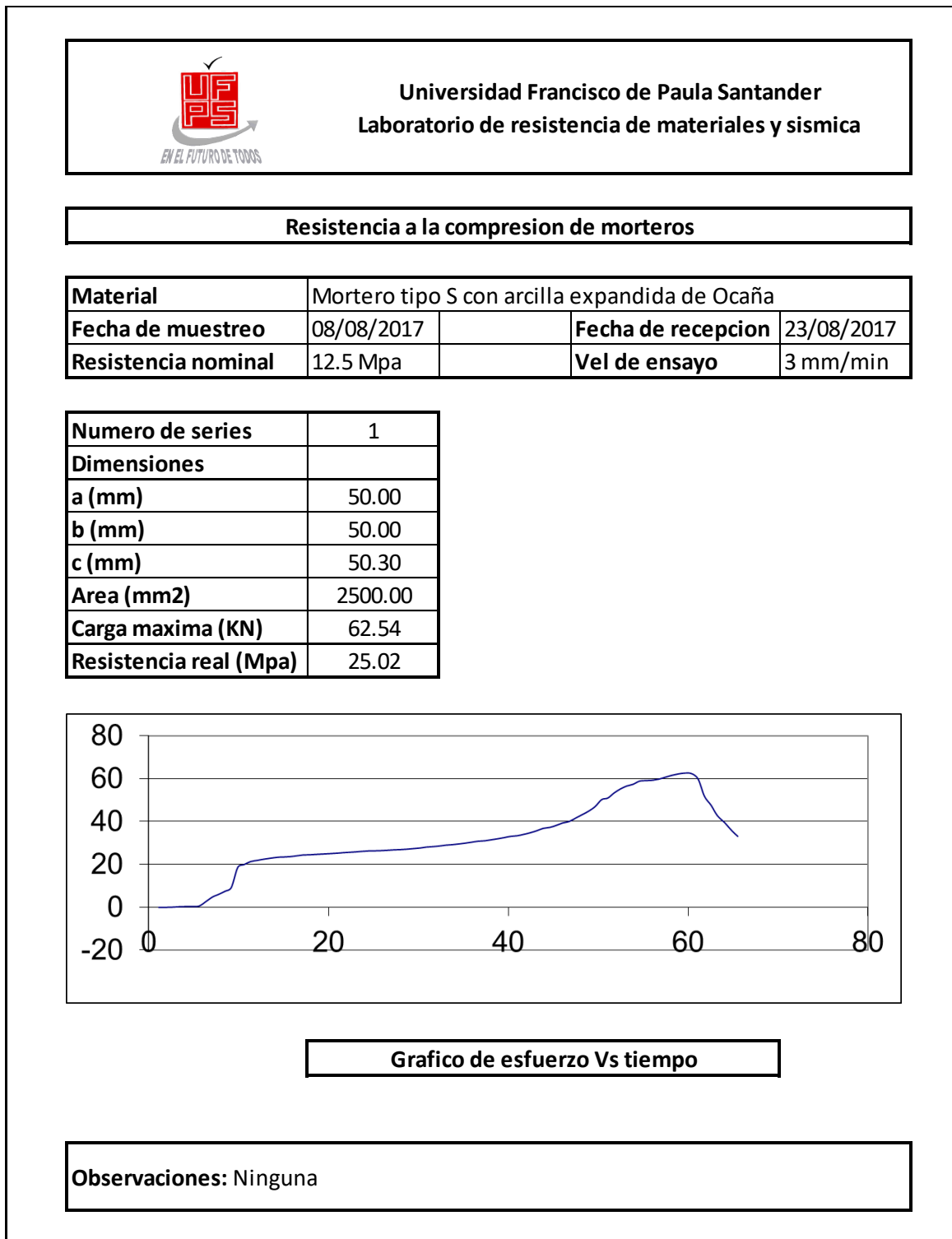


Figura 107. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña a los 14 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

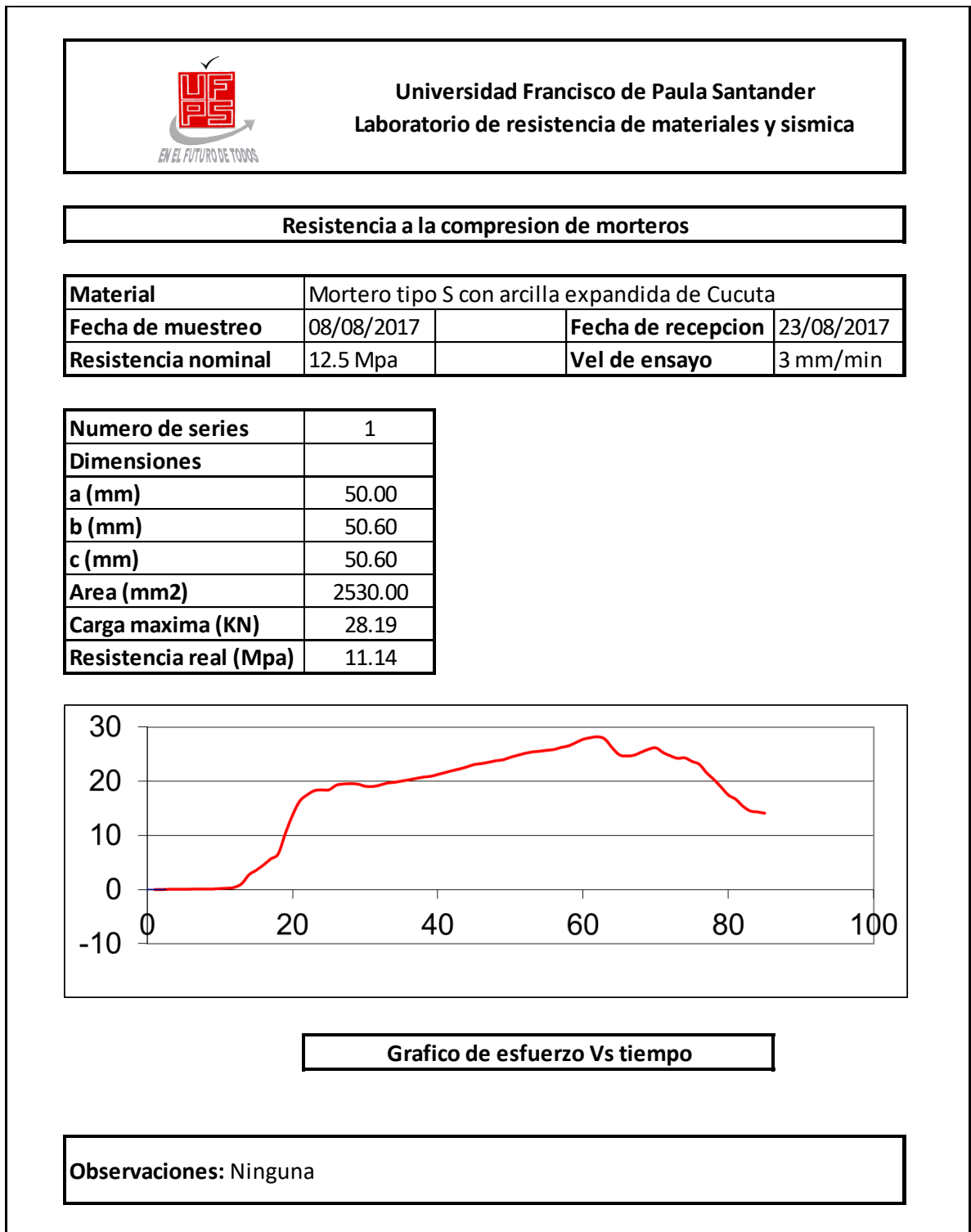


Figura 108. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta a los 14 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

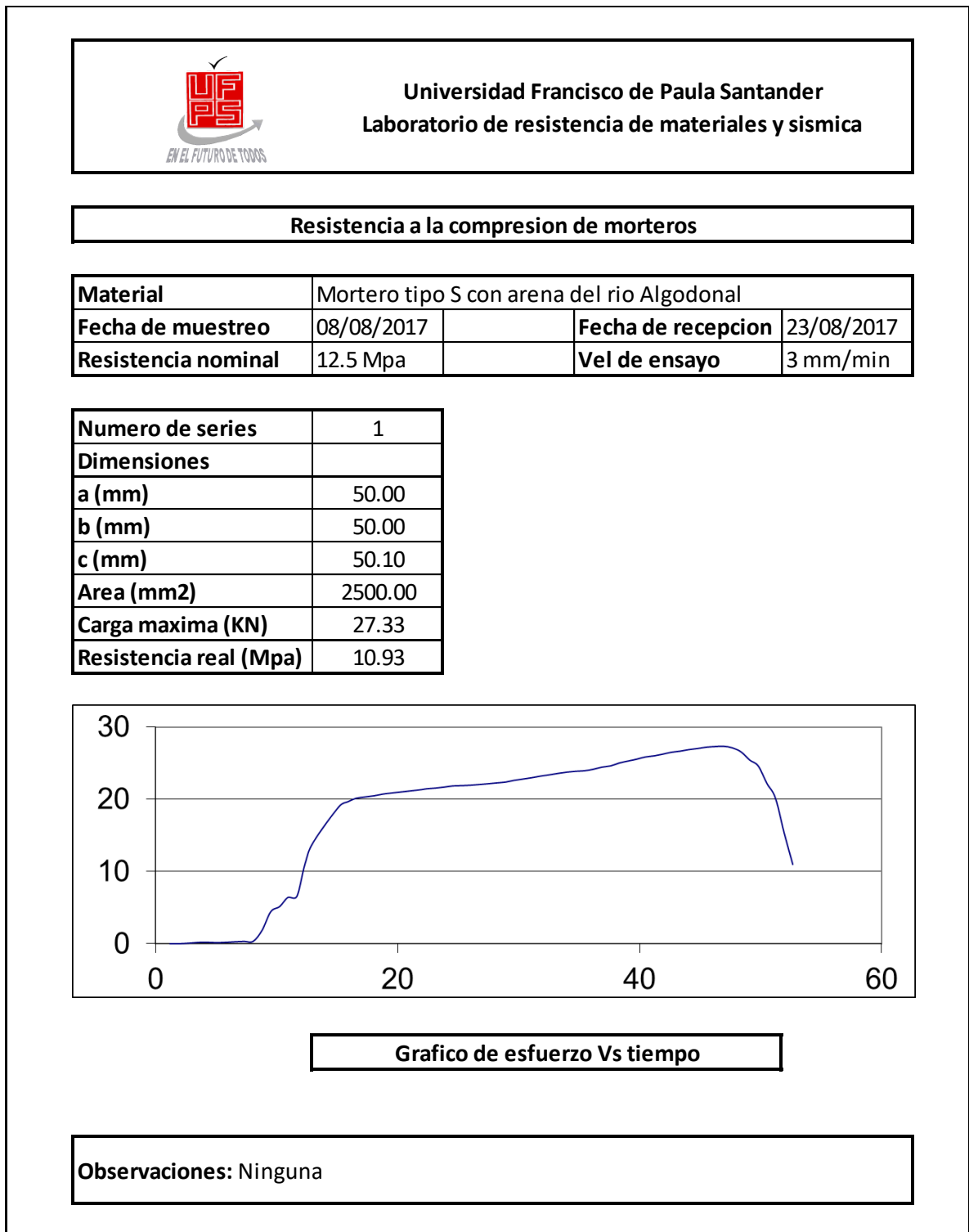


Figura 109. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arena del rio Algodonal a los 14 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

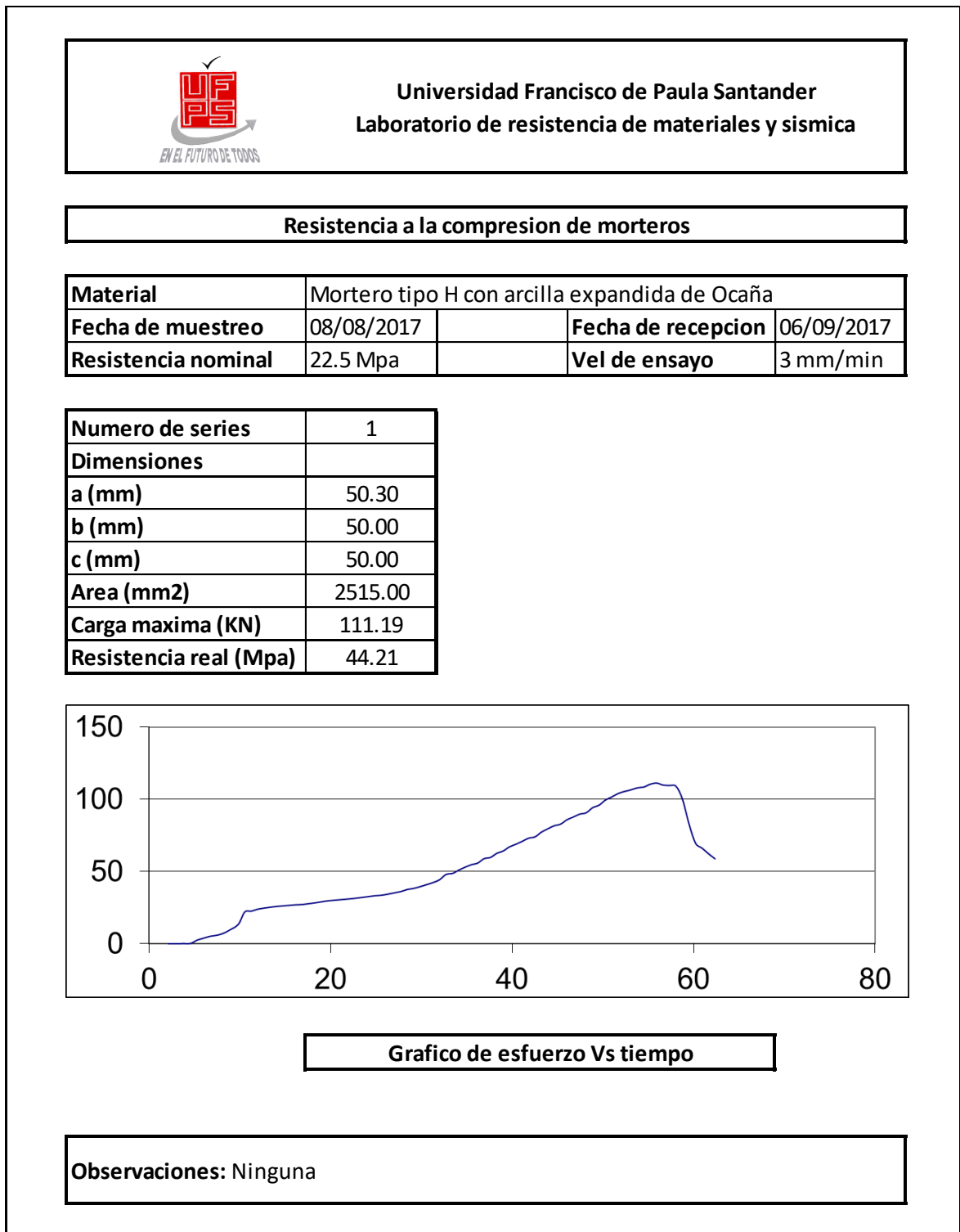


Figura 110. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Ocaña a los 28 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

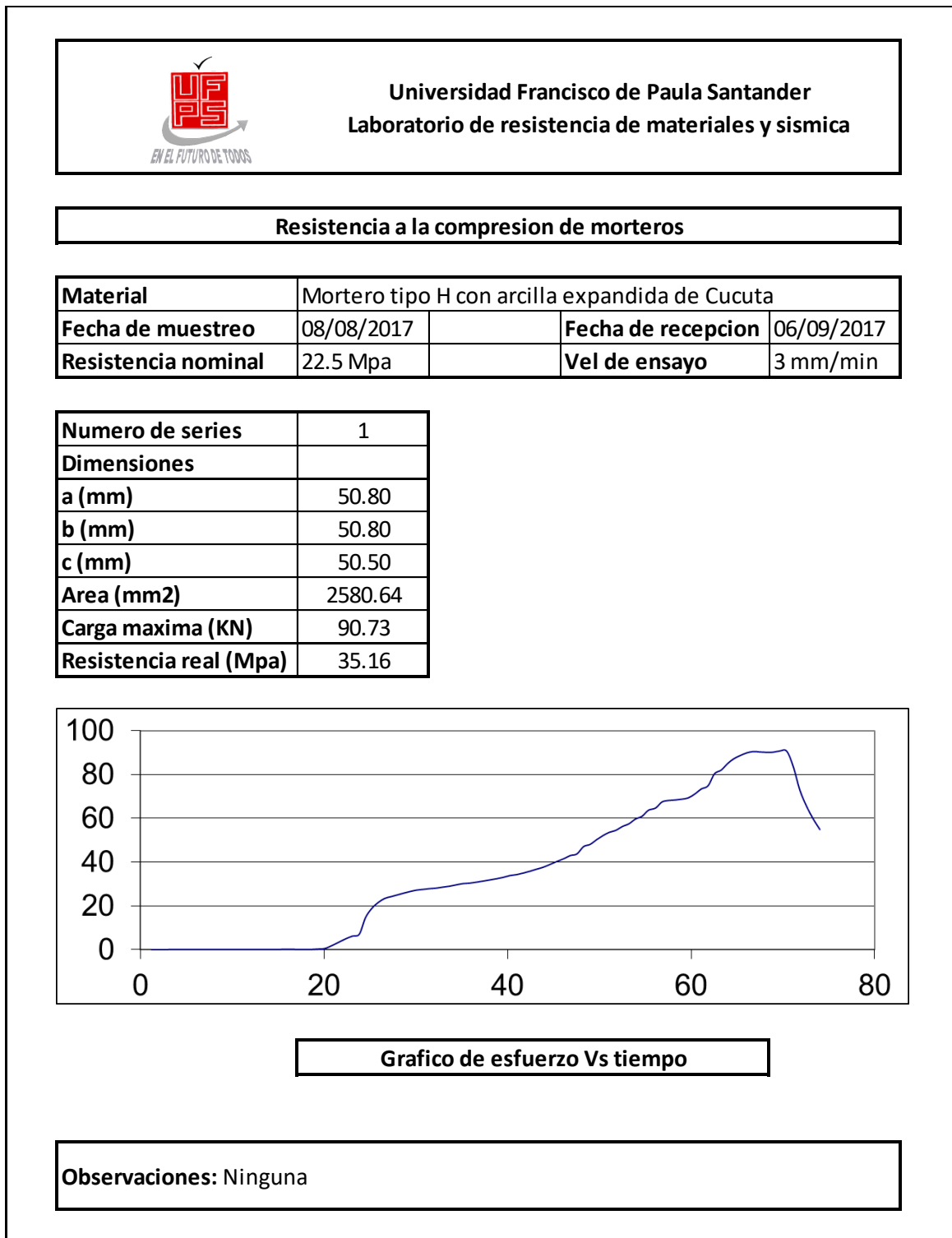


Figura 111. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arcilla expandida de Cúcuta a los 28 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

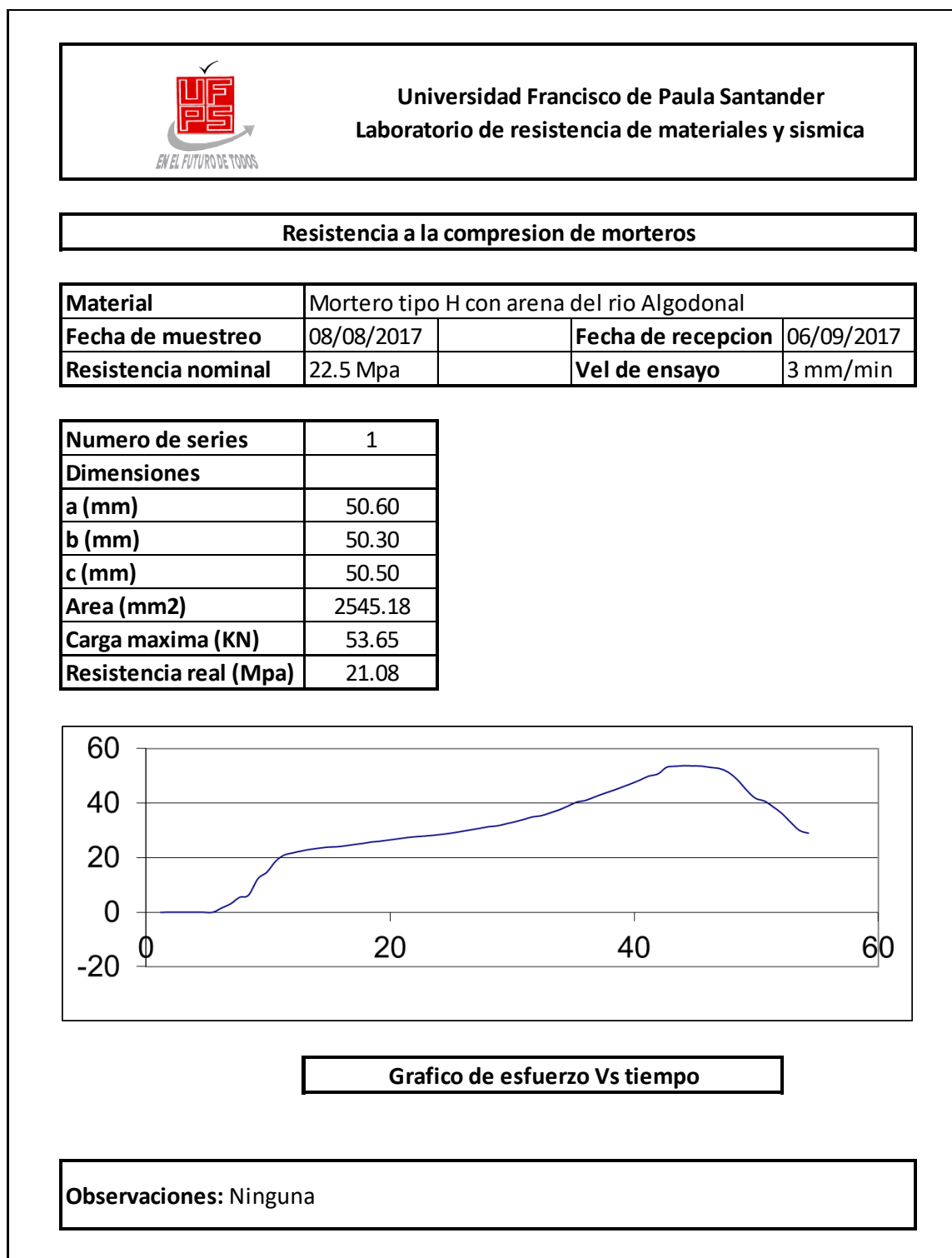


Figura 112. Formato de la resistencia del mortero tipo H con arena del rio Algodonal a los 28 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

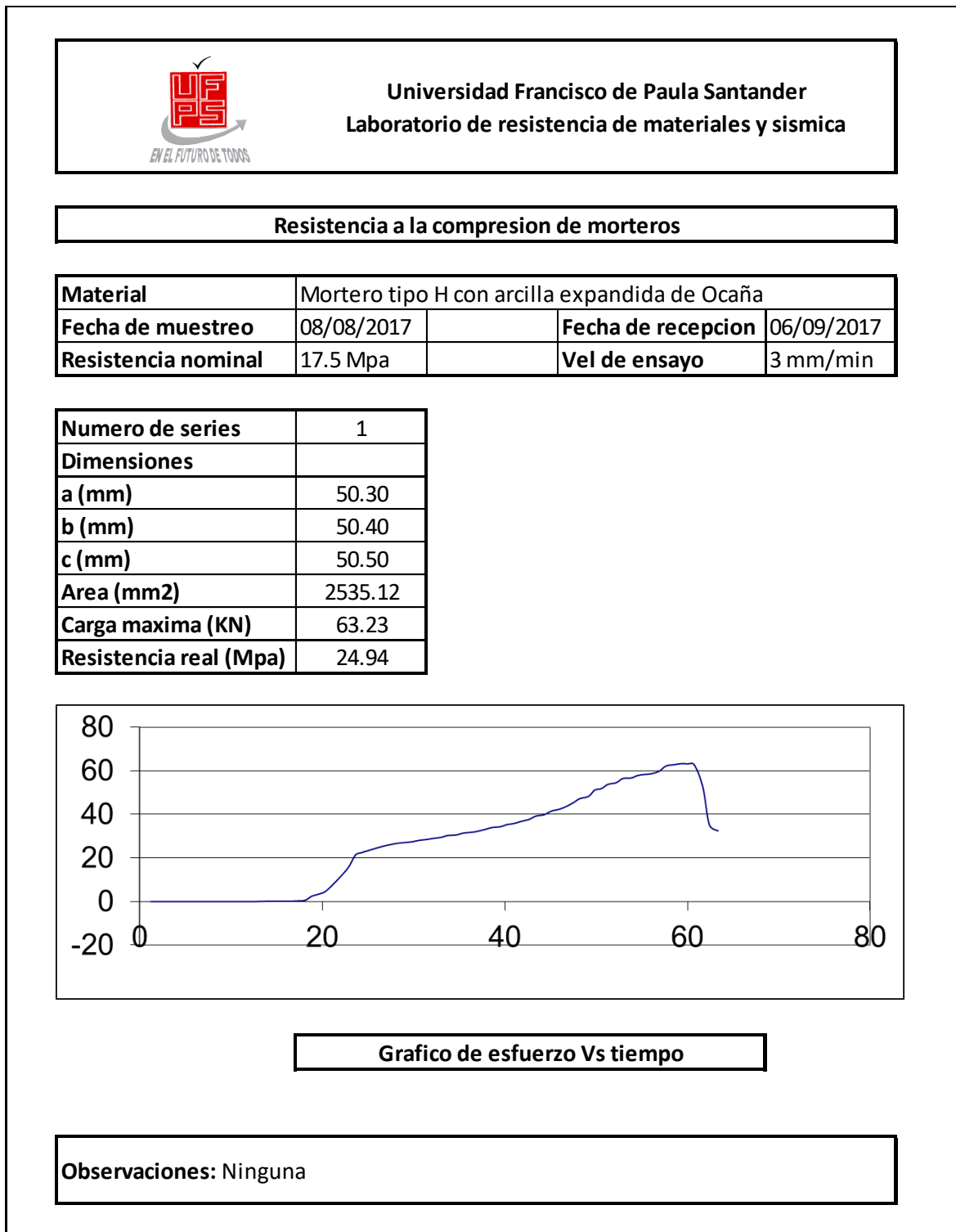


Figura 113. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Ocaña a los 28 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

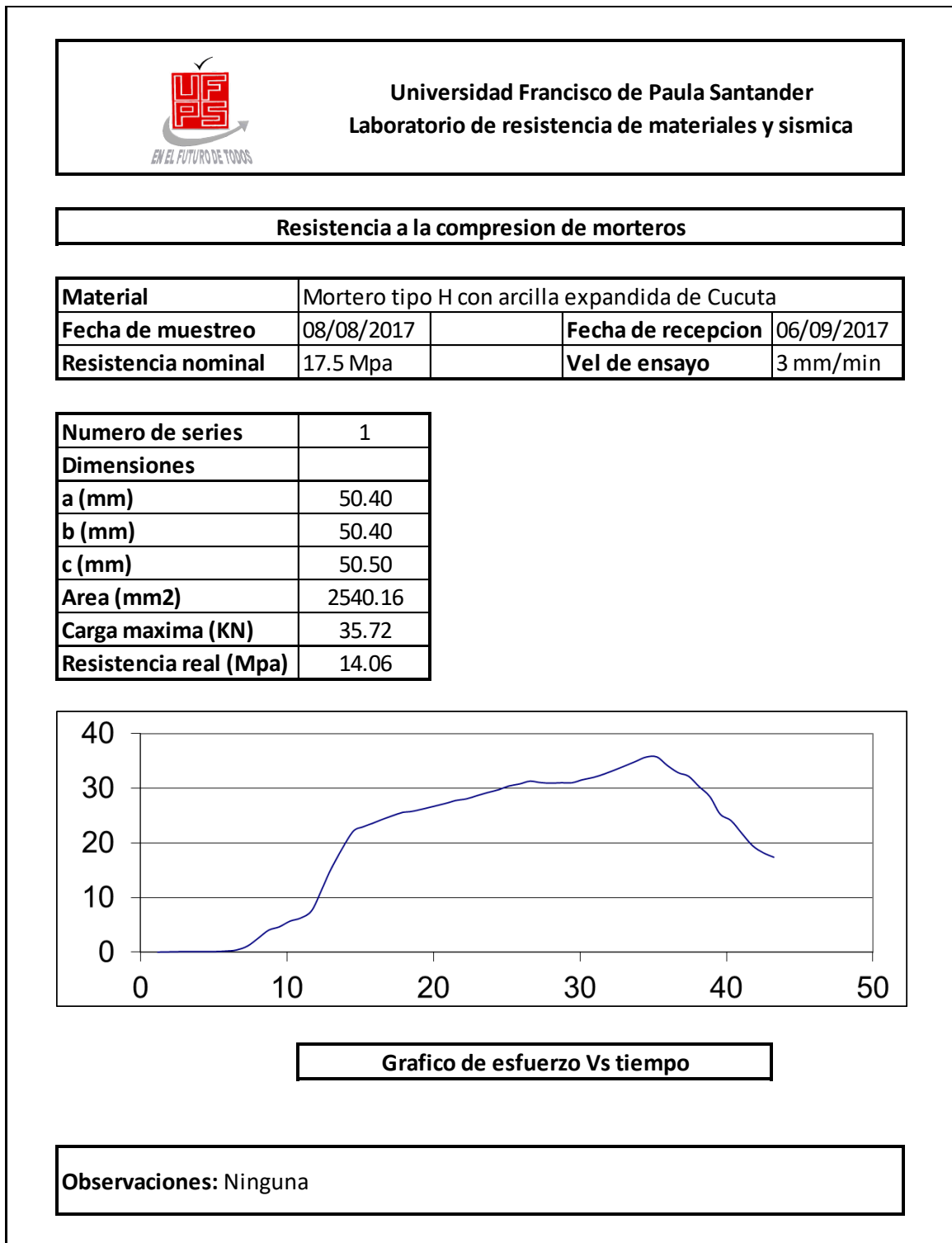


Figura 114. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arcilla expandida de Cúcuta a los 28 días

Nota fuente. Autores del proyecto.

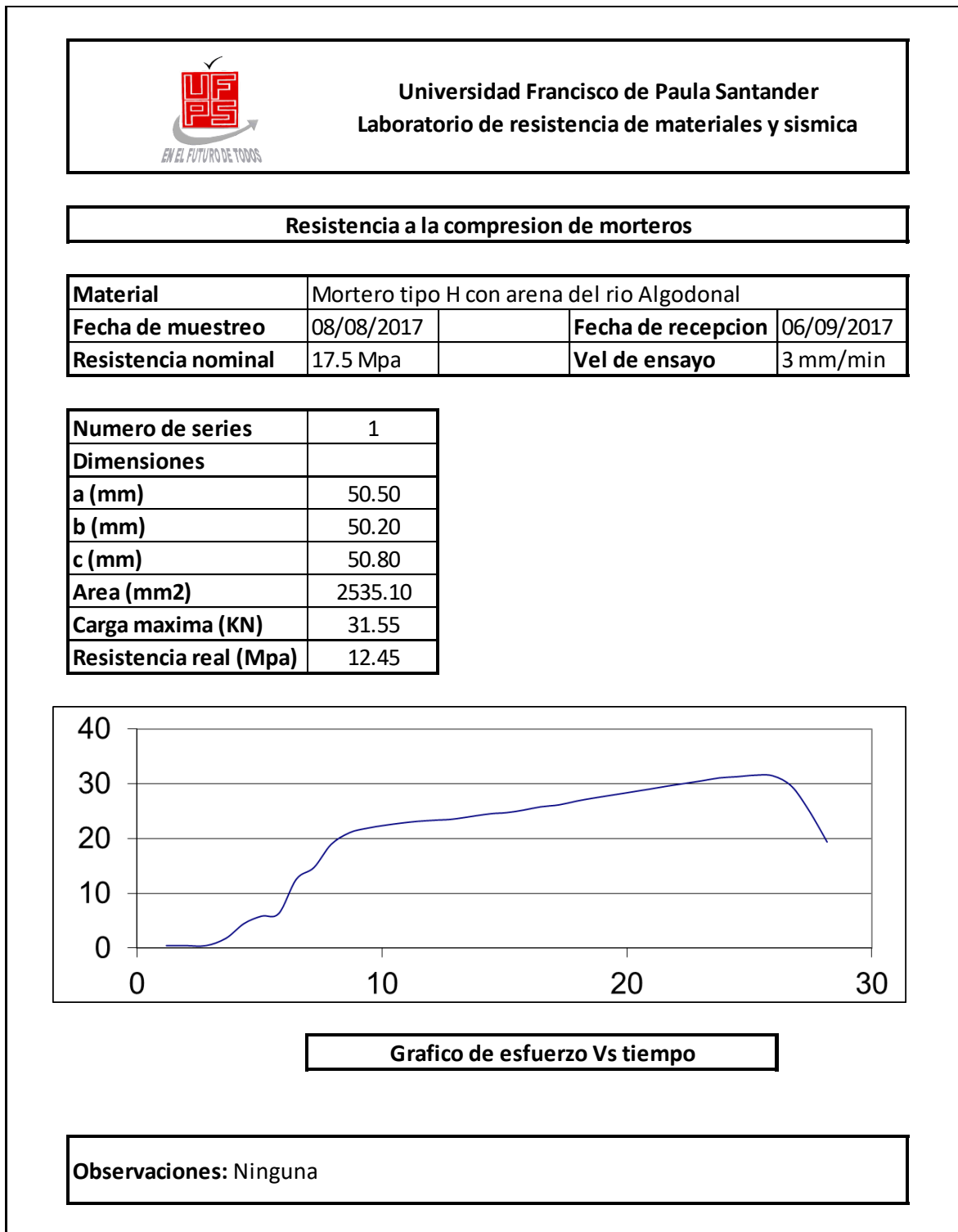


Figura 115. Formato de la resistencia del mortero tipo M con arena del rio Algodonal a los 28 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

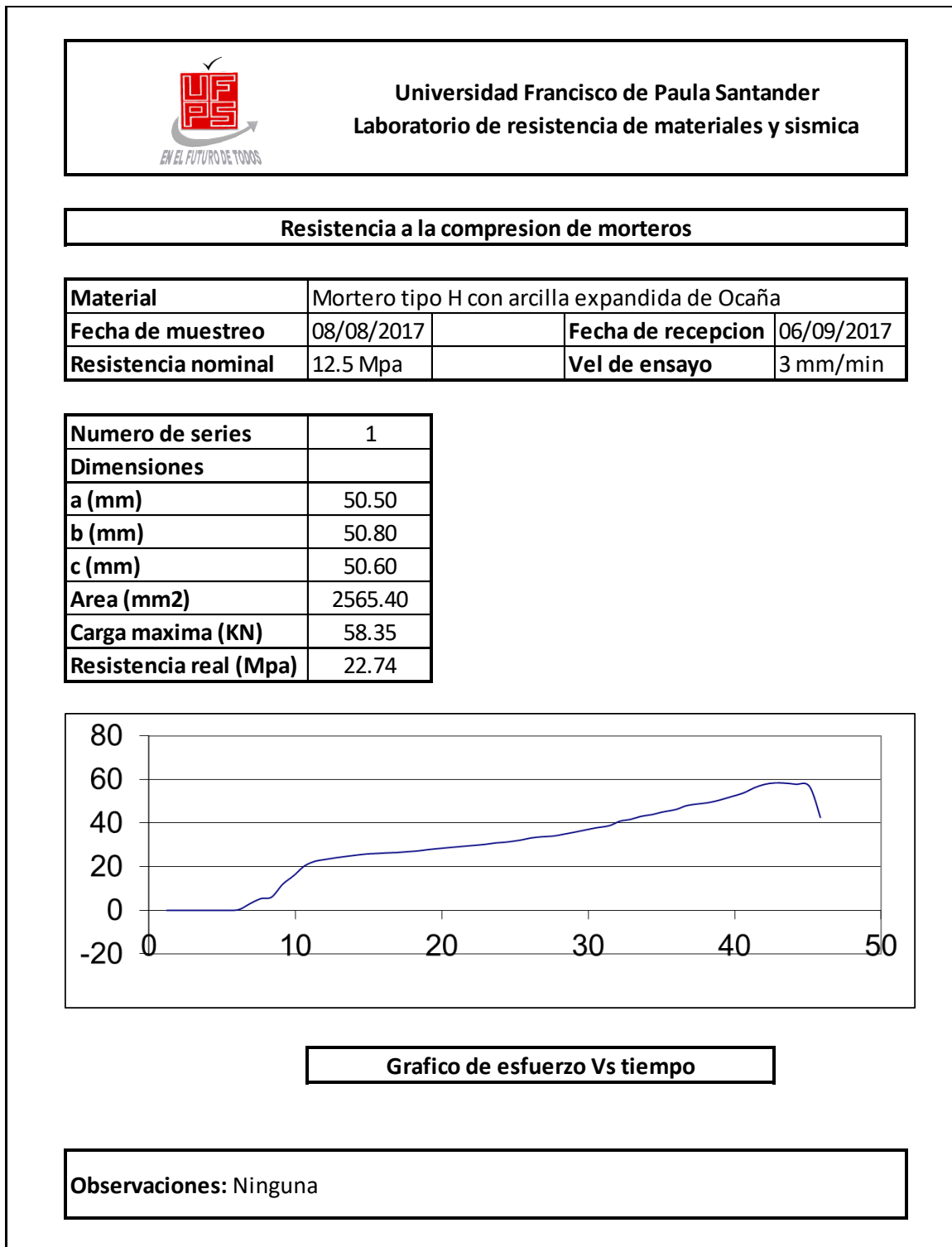


Figura 116. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Ocaña a los 28 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

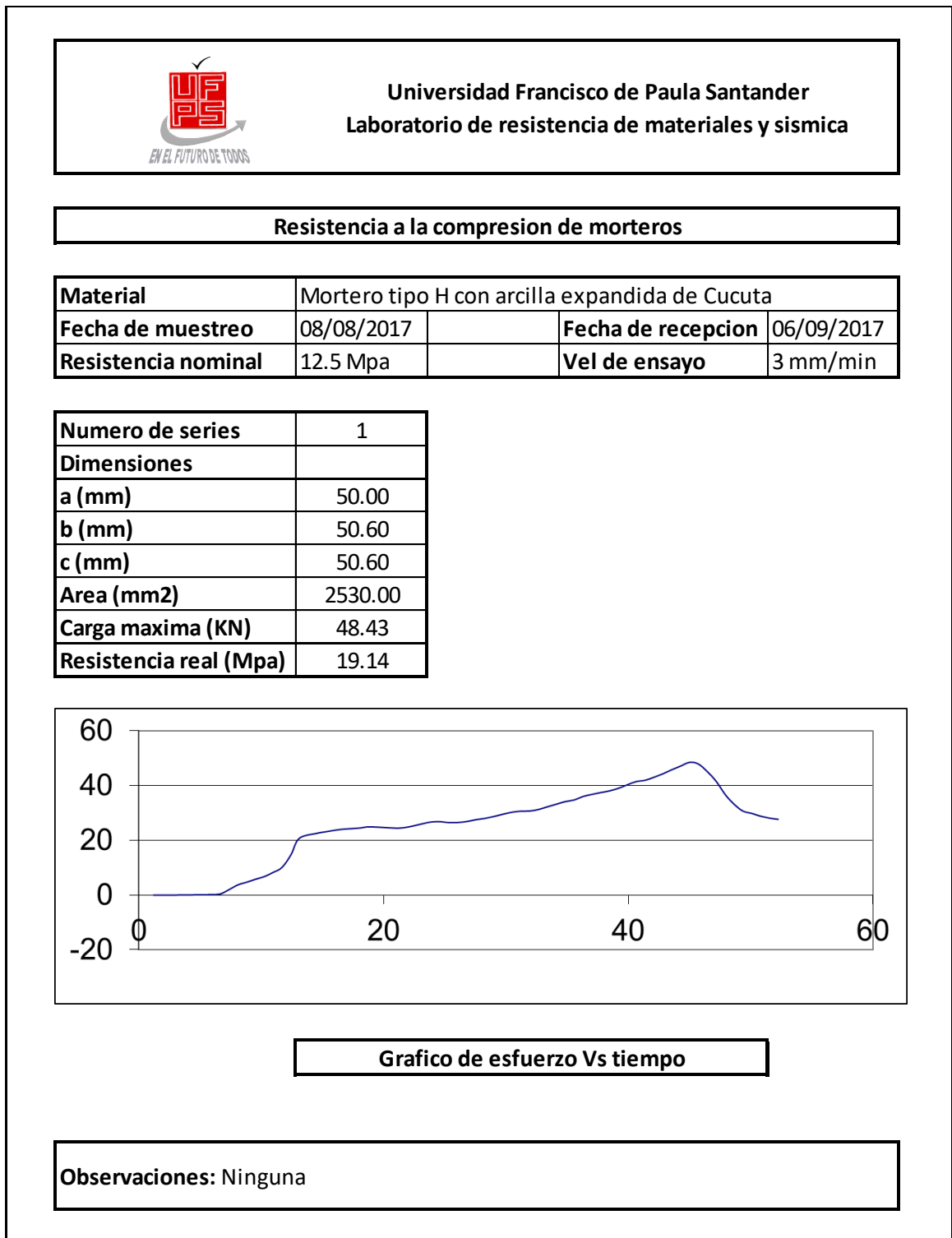


Figura 117. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arcilla expandida de Cúcuta a los 28 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.

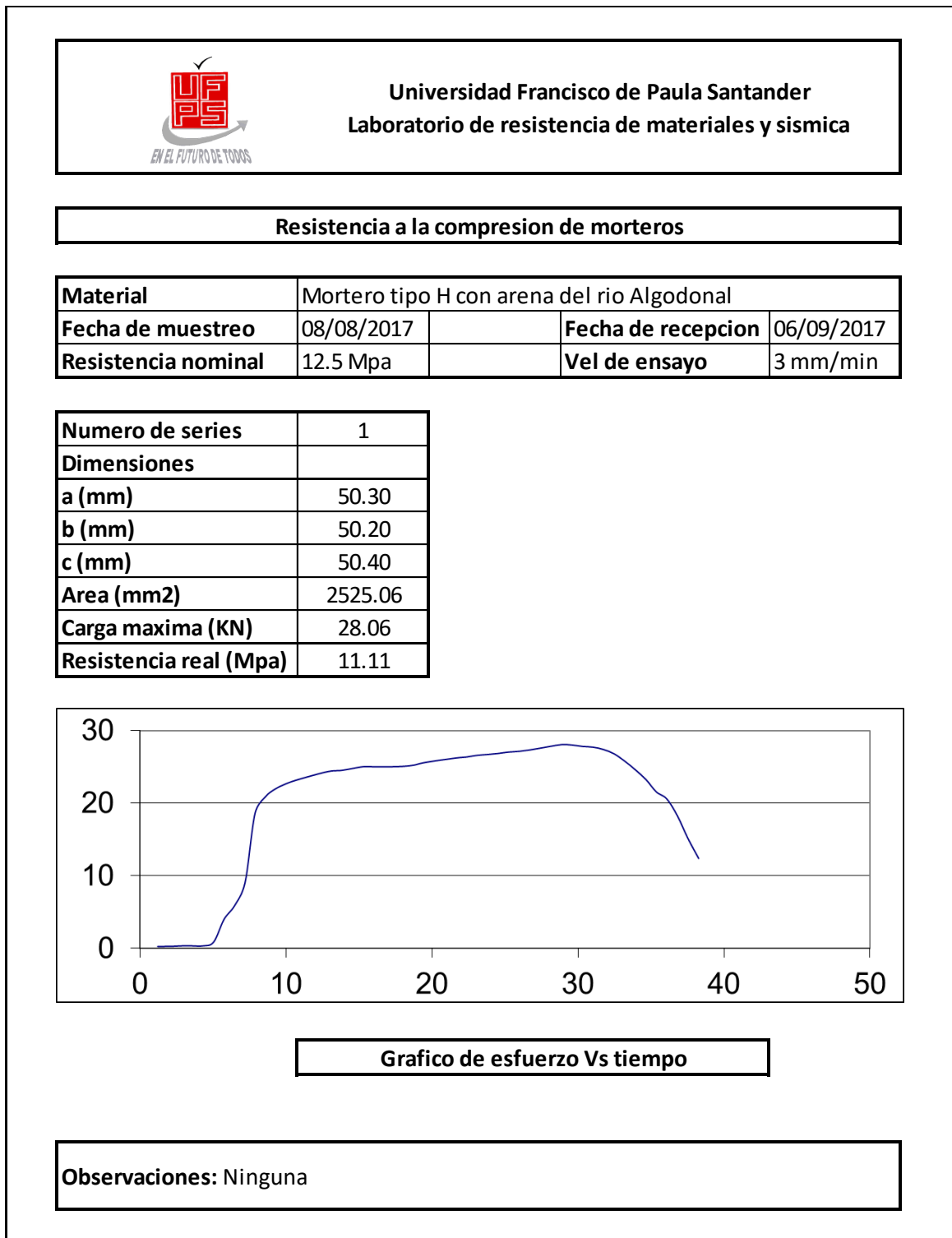


Figura 118. Formato de la resistencia del mortero tipo S con arena del rio Algodonal a los 28 días.

Nota fuente. Autores del proyecto.