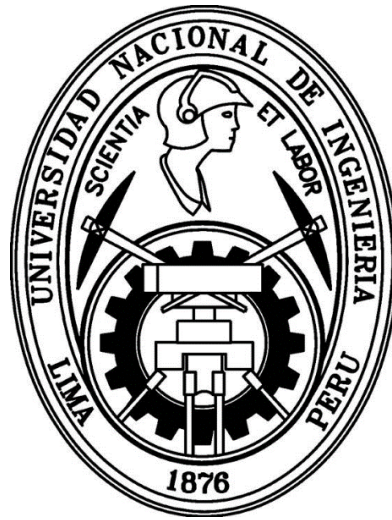


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS



TESIS

**“PROPIEDADES MECANICAS Y TERMICAS DE
ADOBES COMPACTADOS”**

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA

ELABORADA POR:

ISABEL CHINO DE LA CRUZ

ASESOR:

Dr. ABEL AURELIO GUTARRA ESPINOZA

LIMA – PERÚ

2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios, el cual nos puso a cargo de todo cuanto creó, y sometió todas las cosas bajo su autoridad (Salmos 8:6)

Al Dr. Abel Gutarra, Jefe del Laboratorio de materiales Nanoestructurados, por su disposición, paciencia, consejo y entrega, los cuales permitieron el logro de los objetivos planteados en la presente tesis.

A mis profesores de la maestría:

Dra. Mónica Gómez, Dr. Alfredo Oliveros, Mag. Ronald Corrales, Dr. Javier Verástegui, Dra. Carmen Izaguirre, Dra. María Esther Quintana, Dr. Manfred Horn, Dr. José Solís y Dr. Guilles Lefevbre.

Asimismo al Ing. Basurto y Mg Ana Torre, jefa de Laboratorio de ensayo de materiales LEM de la Facultad de Ingeniería Civil de esta casa de estudios, por el apoyo brindado durante la consecución de los ensayos físicos y mecánicos.

A la MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata, por sus recomendaciones y sugerencias durante la consecución de la tesis.

A Richard por su apoyo incondicional, el cual me ha permitido el logro de mis metas.

A mi familia, mamá Martha, Ata y papá Mario, por su cariño y confianza en mí.

A mis amigos Juan, Carlos, Rolando, Harry, Vanessa, Dalton, José y Michael.

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), al Fondo Nacional de Desarrollo Científico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT), que mediante el programa Cátedras en Energías renovables y Eficiencia energética, me ha permitido la realización de la maestría

Y en especial a la Mg. Nelly Reyes, monitora del programa de becarios Concytec, por su consejo, aliento y apoyo constante.

DETALLE DEL CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DETALLE DEL CONTENIDO	II
RESUMEN	1
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4. HIPÓTESIS GENERAL	6
1.4.1. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	6
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.6 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	7
1.7 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO	17
2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ADOBE.....	17
2.1.1. <i>El adobe y el bloque de tierra comprimido (BTC)</i>	17
2.1.2. <i>Estabilización de suelos</i>	17
2.1.3. <i>Implicancia de los estabilizantes en la capacidad térmica del adobe.</i>	18
2.1.4. <i>Microestructura del suelo debido a la adición de estabilizantes.</i>	18
2.2 SELECCIÓN DE LA TIERRA	19
2.2.1 <i>Selección de la tierra para fabricar el adobe.</i>	19
2.2.2 <i>Composición y Caracterización de la tierra.</i>	19
2.2.3 <i>Métodos de campo</i>	20
2.2.3.1 <i>Prueba de Decantación de partículas</i>	21
2.2.3.2. <i>Prueba de Contracción (prueba de la caja)</i>	21
2.2.3.3. <i>Prueba de la cintilla</i>	22
2.2.3.4. <i>Prueba de impacto de la bola húmeda (ball dropping test)</i>	23
2.2.3.5. <i>Prueba de solidez (prueba de resistencia seca)</i>	23
2.2.4. <i>Métodos tactovisuales</i>	23
2.2.4.1. <i>Prueba de observación de color</i>	23
2.2.4.2. <i>Prueba de la brillantez</i>	24
2.2.4.3. <i>Prueba olfativa</i>	24
2.2.4.4. <i>Prueba dental o de la mordedura</i>	24
2.2.4.5. <i>Prueba del lavado de manos</i>	24
2.2.5. <i>Métodos de laboratorio</i>	24
2.2.5.1. <i>Determinación del contenido de humedad de un suelo</i>	25
2.2.5.2. <i>Determinación de los límites de consistencia de los suelos</i>	25
2.2.5.2.1. <i>Determinación del límite líquido de los suelos (LL)</i>	26
2.2.5.2.2. <i>Determinación del límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)</i>	27
2.2.5.3. <i>Análisis granulométrico de suelos por tamizado</i>	27
2.2.5.4. <i>Análisis granulométrico por el método del hidrómetro</i>	28
2.2.5.5. <i>Clasificación del suelo por el sistema SUCS y sistema AASHTO</i>	29
2.2.5.6. <i>Composición del suelo por análisis de difracción por rayos X</i>	32
2.2.5.7. <i>Ensayo de compactación de suelos: prueba de Proctor Modificado</i>	32
2.2.6. <i>Métodos fisicoquímicos</i>	34
2.2.6.1. <i>Determinación del contenido de cloruros en suelos.</i>	34

2.2.6.2. Determinación del contenido de sulfatos en suelos.	34
2.2.6.3. Determinación del contenido de sales solubles en suelos.	34
2.3. FABRICACIÓN DEL ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL Y LADRILLO COMÚN.	35
2.3.1 <i>Componentes de la mezcla 1 y mezcla 2</i>	37
2.3.2 <i>Fabricación de adobes compactados</i>	38
2.3.3. <i>Fabricación de adobes, sin compactar crudo o “adobe convencional”.</i>	38
2.3.4. <i>Fabricación de adobes, sin compactar cocidos o “Ladrillo común”.</i>	39
2.4. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA.	40
2.4.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.	40
2.4.1.1. <i>Ensayo de Resistencia a la compresión de la unidad de albañilería.</i>	41
2.4.1.2. <i>Ensayo de Determinación del módulo de rotura (Ensayo de Flexión)</i>	41
2.4.1.3. <i>Ensayo de Resistencia a la compresión en prismas de albañilería</i>	42
2.4.1.4. <i>Ensayo de Resistencia a la compresión en probetas de suelo-cemento sin compactar.</i>	43
2.4.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS.	43
2.4.2.1. <i>Medición de la Conductividad Térmica.</i>	45
2.4.2.2. <i>Medición de la Difusividad térmica de un material sólido aislante.</i>	47
CAPÍTULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	51
3.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS DE TIERRA:	51
3.1.1 MÉTODOS DE CAMPO	51
Prueba de Decantación de partículas	51
Prueba de Contracción (prueba de la caja)	51
Prueba de la cintilla.....	51
Prueba de impacto de la bola húmeda (ball dropping test).....	52
Prueba de solidez (prueba de resistencia seca)	52
3.1.2. MÉTODOS TACTOVISUALES	52
3.1.3. MÉTODOS DE LABORATORIO:	52
3.1.3.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO	52
3.1.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS.	53
3.1.3.2.1. DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (L.L)	53
3.1.3.2.2. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS (L.P) E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)	53
3.1.3.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO	54
3.1.3.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MÉTODO DEL HIDRÓMETRO	56
3.1.3.5. CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR EL SISTEMA SUCCS.	57
3.1.3.6. SELECCIÓN DEL MATERIAL TIERRA ADECUADO.	58
3.1.3.7. COMPOSICIÓN DEL SUELO POR ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN POR RAYOS X	58
3.1.3.8. ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS: PRUEBA DE PROCTOR MODIFICADO.	59
3.1.4. MÉTODOS FISCOQUÍMICOS:	59
3.1.4.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CLORUROS EN SUELOS.	59
3.1.4.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFATOS EN SUELOS.	60
3.1.4.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS.	60
3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA FABRICACIÓN DE UNIDADES DE ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL Y LADRILLO COMÚN.	60
3.2.1. <i>Fabricación de adobes de suelo-cemento compactado.</i>	60
3.2.2. <i>Fabricación de adobes, sin compactar crudo o “adobe convencional”.</i>	63
3.2.3. <i>Fabricación de adobes, sin compactar cocidos o “ladrillo artesanal”.</i>	65

3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y MECÁNICA DEL ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL Y LADRILLO COMÚN.....	67
3.3.1. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA.....	67
3.3.1.1. Ensayo de Resistencia a la compresión en unidades de albañilería	68
3.3.1.2. Ensayo de Determinación del Módulo de rotura.	69
3.3.1.3. Ensayo de Resistencia a la compresión en prismas de albañilería.....	70
3.3.1.4. Ensayo de Resistencia a la compresión en probetas de suelo-cemento sin compactar.....	73
3.3.2. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA.....	76
3.3.2.1. Medición de la Conductividad Térmica.....	76
3.3.2.2.1. Fabricación de probetas de tierra compactada.....	79
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	84
4.1 RESULTADOS DEL PROCESO DE SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA TIERRA.....	84
4.1.1. RESULTADOS DE LOS MÉTODOS DE CAMPO.....	84
4.1.1.1. Prueba de Decantación de partículas.....	84
4.1.1.2. Prueba de Contracción (prueba de la caja).....	85
4.1.1.3. Prueba de la cintilla.....	86
4.1.1.4. Prueba de impacto de la bola (ball dropping test)	86
4.1.1.5. Prueba de solidez (prueba de resistencia seca).....	87
4.1.2. RESULTADOS DE LOS MÉTODOS TACTOVISUALES.....	88
4.1.3. RESULTADOS DE LOS MÉTODOS DE LABORATORIO.....	90
4.1.3.1. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO	90
4.1.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS.....	91
4.1.3.2.1. DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (L.L)	91
4.1.3.2.2. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS (L.P) E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)	95
4.1.3.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO	96
4.1.3.4. ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO	102
4.1.3.5. Clasificación del suelo por el sistema SUCCS.....	106
4.1.3.6. SELECCIÓN DEL MATERIAL.....	110
4.1.3.7. COMPOSICIÓN DEL SUELO POR ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN POR RAYOS X.....	111
4.1.3.7. ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS: PRUEBA DE PROCTOR MODIFICADO.	113
4.1.3.8. RESULTADOS DE ENSAYOS FISISCOQUÍMICOS	114
4.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL Y LADRILLO COMÚN.....	115
4.2.1. Resistencia a la Compresión de unidades de adobe compactado en función a la Presión de compactación.....	116
4.2.2. Resistencia a la Compresión de unidades de adobe compactado en función al Porcentaje de cemento.....	118
4.2.3. Máximas resistencias a la Compresión de unidades de adobe compactado en función a la Óptima Presión de compactación	120
4.2.4. Máximas resistencias a la Compresión de unidades de adobe compactado en función al Porcentaje de cemento	121
4.2.5. Óptima presión de Compactación en función al Porcentaje de cemento	122
4.2.6. Resistencia a la Compresión en probetas de suelo-cemento No compactado.	124
4.2.7. Resistencia a La Flexión de unidades de adobe compactado en función a la presión de Compactación.....	126

4.2.8. Resistencia a La Compresión de prismas de adobe compactado en función al porcentaje de Cemento para una Presión constante.....	128
4.2.9. Resistencia a La Compresión de prismas de adobe artesanal crudo y cocido tipo king kong macizo.....	131
4.2.10. Resistencia a La Compresión de unidades de adobe artesanal crudo y cocido tipo king kong macizo.....	133
4.3. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL Y LADRILLO COMÚN.....	134
4.3.1. RESULTADOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES COMPACTADOS..	134
4.3.2. RESULTADOS DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES COMPACTADOS.....	139
4.3.2.1. Pérdida de agua en función al tiempo (medido cada 12 horas).....	139
4.3.2.2. Densidad en función de la presión de compactación	142
4.3.2.3. Difusividad en función a la presión de Compactación.....	143
4.3.2.4. Cálculo del espesor del muro en función al tipo de adobe compactado, y Presión de Compactación (Pc).	145
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	147
CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES	153
VII. REFERENCIAS	155
VIII. ANEXOS	161
ANEXO 1. CÁLCULO DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA PARA UNA BARRA CILÍNDRICA DE TIERRA COMPACTADA.	161
ANEXO 2. CURVAS DE TEMPERATURA EN FUNCIÓN AL TIEMPO PARA EL CÁLCULO DE LA DIFUSIVIDAD EN BARRAS DE ADOBE COMPACTADO.	164
ANEXO 3. CLASIFICACIÓN AASHTO	172
ANEXO 4. POSTER PRESENTADO EN INNOVA UNI. OCTUBRE 2017.....	176
ANEXO 5. ARTÍCULO PRESENTADO AL XXIV SIMPOSIO PERUANO DE ENERGÍA SOLAR. NOVIEMBRE 2017.....	177
ANEXO 6. POSTER PRESENTADO EN JORNADAS PERUANAS DE ENERGÍA SOLAR JOPES-UNI. MAYO 2018.....	178
ANEXO 7. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA.	179
ANEXO 8. DIAGRAMA DEL MOLDE MATRIZ PARA FABRICACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS COMPACTADAS.	180
ANEXO 9. DIAGRAMA DEL MOLDE MATRIZ PARA FABRICACIÓN DE ADOBES COMPACTADOS.....	181

FIGURA 25. (A) PRISMA DE ALBAÑILERÍA DE ADOBE ARTESANAL COCIDO, (B) VISTA DE LA GRIETA EN EL MOMENTO DE FALLA DEL PRISMA AL APLICARLE LA MÁXIMA CARGA DE COMPRESIÓN.,(C) FALLA O ROTURA DEL PRISMA HECHO DE ADOBE CONVENCIONAL CRUDO.	73
FIGURA 26. FABRICACIÓN DE PROBETAS NO COMPACTADAS. DE IZQUIERDA A DERECHA: (A) LLENADO DE MEZCLA, (B) CHUZEJO EN EL MOLDE, (C) DESMOLDE DE PROBETAS, (D) PROBETA SECA DE SUELO CEMENTO.	75
FIGURA 27. ENSAYO DE COMPRESIÓN EN PROBETAS NO COMPACTADAS:(A) PROBETA SECA DE SUELO-CEMENTO AL 10%, (B) PROBETA UBICADA EN LA MAQUINA UNIVERSAL, (C) VISTA DE LA GRIETA EN EL MOMENTO DE FALLA AL APLICARLE LA MÁXIMA CARGA DE COMPRESIÓN PARA ESA UNIDAD.	76
FIGURA 28. PREPARACIÓN DE MUESTRAS: (A) CORTE DE CUBOS (B) PERFILADO Y LIMADO DE CUBOS, (C) MUESTRAS PREPARADAS CON AGENTE TÉRMICO.	78
FIGURA 29. MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA CON EL EQUIPO TCI: (A) TESTEO DE CUBOS EN CONFIGURACIÓN INVERTIDA DEL SENSOR (B) ADQUISICIÓN DE RESULTADOS, (C) MEDICIÓN EN UNIDADES ENTERAS	78
FIGURA 30. MEDICIÓN DE PROBETAS NO COMPACTADAS CON EL EQUIPO TCI: (A) MEDICIÓN DE PROBETA NO COMPACTADA AL 5% CEMENTO (B) PRUEBA EN DIFERENTES ORIENTACIONES DE LA MUESTRA (C) PRUEBAS EN MÚLTIPLES UBICACIONES DE LA ARISTA DEL CUBO.	79
FIGURA 31. (A) COMPACTADO DE LA MEZCLA, (B) CILINDRO DE COMPACTACIÓN, (C) PRENSA COMPLEMENTARIA PARA LA COMPACTACIÓN DE PROBETAS, (D) PROBETAS SECAS A UN 59% DE HUMEDAD RELATIVA.....	81
FIGURA 32. VISTA DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE PROBETA DE ADOBES COMPACTADOS.	82
FIGURA 33. VISTA DE LA BOTELLA DESPUÉS DE 4 HORAS DE HABERSE AGITADO, SE OBSERVAN LAS FASES; ORGÁNICA, SUPERIOR SOBRENADANTE, E INORGÁNICA: FINOS PRESENTES EN LA PARTE INFERIOR DE LA BOTELLA PARA LA (A) MUESTRA2 HUACHIPA Y (B) MUESTRA 3-CHORRILLOS.	84
FIGURA 34. VISTA DEL ENCOGIMIENTO O RETRACCIÓN LINEAL DE LA MUESTRA DE SUELO EN LA CAJA. DE IZQUIERDA A DERECHA (A) MUESTRA 2-HUACHIPA, (B) MUESTRA 3- MANCHAY.	85
FIGURA 35. DE IZQUIERDA A DERECHA (A) BOLA DE TIERRA ARMADA (B) BOLA DESINTEGRADA DESPUÉS DEL IMPACTO.	86
FIGURA 36. PRUEBA DE RESISTENCIA SECA.SE OBSERVA LAS BOLAS DE TIERRA DESPUÉS DEL SECADO Y LA RESISTENCIA A ROMPERSE.....	87
FIGURA 37. DE IZQUIERDA A DERECHA: (A) TIERRA1-CHORRILLOS, PRESENTA CONTENIDO DE PAJA O GRAVILLAS, NO PRESENTA BRILLO (B) TIERRA2-HUACHIPA, SE OBSERVA GRUMOS DE MAYOR TAMAÑO Y BRILLO DEBIDO A LA EXISTENCIA MAYORITARIA DE ARCILLAS, NO PRESENTA PAJILLAS (C) TIERRA3-MANCHAY, SE OBSERVA UNA COLORACIÓN CLARA Y SIN BRILLO DEBIDO A LA PREDOMINANCIA DE ARENAS Y LIMO, NO PRESENTA PAJILLA.	91
FIGURA 38. DE IZQUIERDA DERECHA: (A) MUESTRAS DE TIERRA TAMIZADAS Y GUARDADAS HERMÉTICAMENTE, (B) MUESTRA DE SUELO TAMIZADA, (C) MUESTRA DE SUELO EN RECIPIENTES QUE VAN AL HORNO DE SECADO	91
FIGURA 39. DIAGRAMA DE FLUIDEZ, MUESTRA 1- CHORRILLOS.	92
FIGURA 40. DIAGRAMA DE FLUIDEZ, MUESTRA 2- HUACHIPA.	93
FIGURA 41. DIAGRAMA DE FLUIDEZ, MUESTRA 3- MANCHAY.	94
FIGURA 42. CURVA GRANULOMÉTRICA, MUESTRA 1-CHORRILLOS.....	99
FIGURA 43. CURVA GRANULOMÉTRICA, MUESTRA 2- HUACHIPA.	100
FIGURA 44. CURVA GRANULOMÉTRICA, MUESTRA 3- MANCHAY.	100
FIGURA 45. CURVA GRANULOMÉTRICA, MUESTRA 1-CHORRILLOS.....	102
FIGURA 46. CURVA GRANULOMÉTRICA, MUESTRA 2- HUACHIPA.	102
FIGURA 47. CURVA GRANULOMÉTRICA, MUESTRA 3- MANCHAY.	103
FIGURA 48. CARTA DE PLASTICIDAD, MUESTRA 1-CHORRILLOS.	106
FIGURA 49. CARTA DE PLASTICIDAD, MUESTRA 2- HUACHIPA.	107
FIGURA 50. CARTA DE PLASTICIDAD, MUESTRA 3-MANCHAY.	108

FIGURA 51. ANÁLISIS CUALITATIVO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X: MUESTRA 2-HUACHIPA,.....	112
FIGURA 52. CURVA DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO, DENSIDAD SECA VS HUMEDAD.....	114
FIGURA 53. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS. PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA DIFERENTES PORCENTAJES EN PESO DE CEMENTO. LAS LÍNEAS HORIZONTALES PUNTEADAS INDICAN LOS VALORES DE ESFUERZOS MÍNIMOS SEGÚN LA NORMA TÉCNICA PERUANA DEL ADOBE NTE 0.80 Y LA NORMA TÉCNICA PERUANA DE ALBAÑILERÍA NTE 0.70.	116
FIGURA 54. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS. PORCENTAJES EN PESO DE CEMENTO PARA DIFERENTES PRESIONES DE COMPACTACIÓN. LAS LÍNEAS HORIZONTALES PUNTEADAS INDICAN EL VALOR MÍNIMO SEGÚN LA NORMA TÉCNICA DEL ADOBE NTE0.80 Y NORMA TÉCNICA DE ALBAÑILERÍA NTP 0.70.	119
FIGURA 55. MÁXIMAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN VS. OPTIMAS PRESIONES DE COMPACTACIÓN PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE CEMENTO.	120
FIGURA 56. MÁXIMAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN VS. PORCENTAJES DE CEMENTO PARA ÓPTIMAS PRESIONES DE COMPACTACIÓN.	121
FIGURA 57. OPTIMAS PRESIONES DE COMPACTACIÓN EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE CEMENTO.	123
FIGURA 58. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE CEMENTO PARA MEZCLAS A DIFERENTES HUMEDADES.....	125
FIGURA 59. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Mr) VS. PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA DIFERENTES PORCENTAJES EN PESO DE CEMENTO. LAS LÍNEAS HORIZONTAL PUNTEADA INDICA LOS VALORES DE ESFUERZOS MÍNIMOS SEGÚN LA NORMA TÉCNICA ITINTEC 331.017.	127
FIGURA 60. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PILAS DE ADOBE COMPACTADO VS. PORCENTAJE DE CEMENTO, PARA UNA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN DE 1.86MPa.	128
FIGURA 61. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PRISMAS DE ADOBE COMPACTADO VS PORCENTAJE DE CEMENTO, PARA UNA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN DE 1.86MPa. LA LÍNEA HORIZONTAL PUNTEADA INDICA EL VALOR DEL ESFUERZO MÍNIMO PARA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA ALBAÑILERÍA SEGÚN NTE 0.80.....	130
FIGURA 62. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PRISMAS DE ADOBE CRUDO Y COCIDO, PARA UNA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN NULA O DE 0MPa. LA LÍNEA HORIZONTAL PUNTEADA INDICA EL VALOR DEL ESFUERZO MÍNIMO PARA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA ALBAÑILERÍA SEGÚN NORMA DEL ADOBE NTE 0.80.....	132
FIGURA 63. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ADOBE Y LADRILLO ARTESANAL.	133
FIGURA 64. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA UN Wc%:0%.....	135
FIGURA 65. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA Wc%:10%.	136
FIGURA 66. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA Wc%:20%.	137
FIGURA 67. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES COMPACTADOS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA CONCENTRACIONES DE CEMENTO Wc%: 0, 10,20%	138
FIGURA 68. PÉRDIDA DE AGUA (%) EN FUNCIÓN AL TIEMPO, MEDIDA CADA 12 HORAS, SE VISUALIZAN PARA TODAS LAS PRESIONES DE COMPACTACIÓN.....	140
FIGURA 69. PÉRDIDA DE AGUA EN FUNCIÓN AL TIEMPO, MEDIDA CADA 12 HORAS, SE VISUALIZAN PARA EL MÁXIMO, MÍNIMO Y MEDIO DE LAS PRESIONES DE COMPACTACIÓN.	141
FIGURA 70. PÉRDIDA DE AGUA EN FUNCIÓN AL TIEMPO, MEDIDA CADA 12 HORAS, SE VISUALIZA LA ESTABILIZACIÓN A PARTIR DE LAS 84 HORAS.	141
FIGURA 71 DENSIDAD DE PROBETAS COMPACTADAS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN. .	143
FIGURA 72 DIFUSIVIDAD DE PROBETAS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN, VALOR TEÓRICO Y SIMPLIFICADO.	144
FIGURA 73. DIFUSIVIDAD DE PROBETAS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN, VALOR TEÓRICO.	145
FIGURA 74. ESPESOR DE MURO EN FUNCIÓN AL DESFASAJE Y TIPO DE ADOBE COMPACTADO.	146

FIGURA 75. CURVA DE TEMPERATURAS VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE 0MPA.	164
FIGURA 76. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 0.15 MPa.	164
FIGURA 77. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 0.46 MPa.	165
FIGURA 78. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 0.62 MPa.	165
FIGURA 79. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 0.93 MPa.	166
FIGURA 80. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 1.24 MPa.	166
FIGURA 81. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 1.86 MPa.	167
FIGURA 82. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 2.16 MPa.	167
FIGURA 83. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 2.48 MPa.	168
FIGURA 84. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 2.78 MPa.	168
FIGURA 85. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 3.40 MPa.	169
FIGURA 86. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 3.72 MPa.	169
FIGURA 87. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 4.02 MPa.	170
FIGURA 88. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 4.18 MPa.	170
FIGURA 89. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 4.33 MPa.	171
FIGURA 90. CURVA DE TEMPERATURA VS TIEMPO PARA LA BARRA DE ADOBE COMPACTADO A 4.63 MPa.	171

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CONDUCTIVIDAD Y DENSIDAD PARA ADOBE PUBLICADOS POR DIFERENTES FUENTES.	4
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE SUELOS SISTEMA SUCS. ASTM D-2487[17]	30
TABLA 3. TABLA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS, DADO POR LA AASHTO M-145 [71].	31
TABLA 4. CANTIDAD DE UNIDADES DE “ADOBE CONVENCIONAL COCIDO” O “LADRILLO ARTESANAL”	39
TABLA 5. FACTORES DE CORRECCIÓN EN PRISMAS DE ALBAÑILERÍA [89].	43
TABLA 6. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO TC1 DE C-THERM [97].	47
TABLA 7. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA LA REALIZACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CAMPO.	51
TABLA 8. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS USADAS EN LA FABRICACIÓN DE ADOBES COMPACTADOS.	60
TABLA 9. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS USADAS EN LA FABRICACIÓN DE ADOBES CONVENCIONALES.	63
TABLA 10. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LA UNIDAD.	68
TABLA 11. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE LA UNIDAD.	69
TABLA 12. CANTIDAD DE PRISMAS POR “TIPO O SERIE” DE ADOBE.	70
TABLA 13. CANTIDAD DE PRISMAS DE ADOBE CONVENCIONAL CRUDO.	71
TABLA 14. CANTIDAD DE PRISMAS DE ADOBE CONVENCIONAL COCIDO.	71
TABLA 15. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PRISMAS.	72
TABLA 16. CANTIDAD DE PROBETAS POR “TIPO DE MEZCLA”.	74
TABLA 17. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN LA FABRICACIÓN DE PROBETAS NO COMPACTADAS.	75
TABLA 18. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN EL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS.	75
TABLA 19. EQUIPOS Y MATERIALES USADOS EN LA MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE UNIDADES COMPACTADAS Y NO COMPACTADAS	77
TABLA 20. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE PROBETAS DE TIERRA COMPACTADA, PARA TESTEO DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA.	79
TABLA 21. PARÁMETROS DE DISEÑO USADOS EN LA MEDICIÓN DE DIFUSIVIDAD.	83
TABLA 22. PORCENTAJE DE LOS AGREGADOS PRESENTES EN LAS MUESTRAS DE TIERRA.	84
TABLA 23. VALORES DE CONTRACCIÓN LINEAL.	85
TABLA 24. VALORES DE LONGITUD DE FRAGMENTO ROTO EN PRUEBA DE LA CINTILLA.	86
TABLA 25. CUADRO RESUMEN DE LAS PRUEBAS DE CAMPO.	87
TABLA 26. CUADRO RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS TACTO VISUALES.	89
TABLA 27. RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO.	90
TABLA 28. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL LÍMITE LÍQUIDO DE UN SUELO MUESTRA –CHORRILLOS.	92
TABLA 29. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL LÍMITE LÍQUIDO DE UN SUELO MUESTRA 2- HUACHIPA.	93
TABLA 30. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL LÍMITE LÍQUIDO DE UN SUELO MUESTRA 3- MANCHAY.	94
TABLA 31. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL LÍMITE LÍQUIDO DE SUELOS PARA LAS 3 MUESTRAS DE SUELO.	95
TABLA 32. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL LÍMITE PLÁSTICO DE SUELOS (MUESTRA - CHORRILLOS).	95
TABLA 33. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL LÍMITE PLÁSTICO DE UN SUELO MUESTRA 2- HUACHIPA.	95
TABLA 34. RESULTADOS DEL ENSAYO DEL LÍMITE PLÁSTICO DE UN SUELO MUESTRA 3-MANCHAY.	96
TABLA 35. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE PLASTICIDAD PARA LAS 3 MUESTRAS DE SUELO.	96
TABLA 36. PESOS DEL SUELO LAVADO, RETENIDO Y PASANTE PARA LAS 3 MUESTRAS DE SUELO.	97
TABLA 37. MUESTRA 1- CHORRILLOS.	98
TABLA 38. MUESTRA 2- HUACHIPA.	98
TABLA 39. MUESTRA 3- MANCHAY.	99
TABLA 40. PORCENTAJES DE AGREGADO GRUESO Y FINO PARA LAS 3 MUESTRAS DE SUELO.	101
TABLA 41. DIÁMETROS EFECTIVOS SEGÚN CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA LAS 3 MUESTRAS DE SUELO.	101
TABLA 42. M1-CHORRILLOS TABLA 43. M2- HUACHIPA TABLA 44. M3- MANCHAY	104

TABLA 45. CUADRO RESUMEN DE LAS PRUEBAS GRANULOMÉTRICAS, PARA LAS 3 MUESTRAS DE SUELO.	104
TABLA 46. DIÁMETROS EFECTIVOS SEGÚN CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA LAS TRES MUESTRAS DE SUELO.	105
TABLA 47. COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA PARA LAS TRES MUESTRAS DE SUELO.	105
TABLA 48. PROCESO DE CLASIFICACIÓN SUCS MUESTRA 1- CHORRILLOS.	106
TABLA 49. PROCESO DE CLASIFICACIÓN SUCS MUESTRA 2- HUACHIPA.	107
TABLA 50. PROCESO DE CLASIFICACIÓN SUCS MUESTRA 3- MANCHAY.....	108
TABLA 51. CARACTERÍSTICAS FINALES Y CLASIFICACIÓN SUCS Y AAHSTO MUESTRA 1- CHORRILLOS.	109
TABLA 52. CARACTERÍSTICAS FINALES Y CLASIFICACIÓN SUCS Y AAHSTO MUESTRA 2- HUACHIPA.	109
TABLA 53. CARACTERÍSTICAS FINALES Y CLASIFICACIÓN SUCS Y AAHSTO MUESTRA 3- MANCHAY.	110
TABLA 54. ANÁLISIS CUANTITATIVO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X: MUESTRA 2-HUACHIPA.	112
TABLA 55. VALORES OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE COMPACTACIÓN MUESTRA2- HUACHIPA.	113
TABLA 56. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MEZCLA COMPACTADA. MUESTRA2- HUACHIPA.	113
TABLA 57. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO PROCTOR MODIFICADO MÉTODO “A”.	114
TABLA 58. COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICO DEL SUELO DE HUACHIPA.....	115
TABLA 59. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UNIDADES EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN.	116
TABLA 60. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UNIDADES DE ADOBE COMPACTADO EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE CEMENTO.....	118
TABLA 61. MÁXIMAS RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN FUNCIÓN A ÓPTIMAS PRESIONES DE COMPACTACIÓN.....	120
TABLA 62. MÁXIMAS RESISTENCIAS A COMPRESIÓN EN FUNCIÓN A PORCENTAJE DE CEMENTO.	121
TABLA 63. OPTIMA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE CEMENTO.....	122
TABLA 64. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS EN FUNCIÓN AL CONTENIDO DE AGUA.	124
TABLA 65. RESISTENCIA A FLEXIÓN DE UNIDADES EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN.....	126
TABLA 66. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PRISMAS EN FUNCIÓN AL PORCENTAJE DE CEMENTO, PARA UNA PC 1.86 MPa.....	128
TABLA 67. ESFUERZO DE COMPRESIÓN ÚLTIMO, ESFUERZO A COMPRESIÓN DEL MURO, ESFUERZO A COMPRESIÓN POR APLASTAMIENTO EN PRISMAS DE ADOBE COMPACTADO.	130
TABLA 68. ESFUERZO DE COMPRESIÓN ÚLTIMO, ESFUERZO A COMPRESIÓN DEL MURO, ESFUERZO A COMPRESIÓN POR APLASTAMIENTO EN PRISMAS DE ADOBE CONVENCIONAL Y LADRILLO ARTESANAL.	131
TABLA 69. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE ADOBES CONVENCIONAL CRUDO Y LADRILLO ARTESANAL.	133
TABLA 70. VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES COMPACTADOS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA UN Wc%: 0%.....	135
TABLA 71. VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES COMPACTADOS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA UN Wc%: 10%.....	136
TABLA 72. VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES COMPACTADOS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA UN Wc%: 20%.....	137
TABLA 73. VALORES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES COMPACTADOS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN PARA Wc%: 0, 10, 20%.....	138
TABLA 74. PÉRDIDA DE AGUA EN PROBETAS COMPACTADAS EN FUNCIÓN AL TIEMPO.	140
TABLA 75. DENSIDAD SECA DE PROBETAS COMPACTADAS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN.	142
TABLA 76. DIFUSIVIDAD DE PROBETAS COMPACTADAS EN FUNCIÓN A LA PRESIÓN DE COMPACTACIÓN.	144
TABLA 77. ESPESOR DE MURO EN FUNCIÓN AL DESFASAJE PROMEDIO PARA UNA VIVIENDA RURAL ANDINA.	146

TABLA 78. PROCESO DE CLASIFICACIÓN AAHSTO MUESTRA 1- CHORRILLOS.	174
TABLA 79. PROCESO DE CLASIFICACIÓN AAHSTO MUESTRA 2- HUACHIPA.	175
TABLA 80. PROCESO DE CLASIFICACIÓN AAHSTO MUESTRA 3- MANCHAY.	175

RESUMEN

La presente investigación parte de la búsqueda de un material alternativo que presente un buen comportamiento térmico y una aceptable resistencia mecánica, utilizando en su elaboración elementos locales, fáciles de conseguir, de bajo costo y que su fabricación genere un bajo impacto ambiental.

El objetivo del presente trabajo consiste en elaborar adobes compactados a diferentes presiones y proporciones de cemento para luego caracterizar sus propiedades mecánicas y térmicas.

En este trabajo de investigación se logró diseñar, fabricar y caracterizar mecánica y térmicamente bloques de suelo-cemento compactado, confeccionándose a partir de tierra, agua y cemento en bajas proporciones, se partió del suelo de Huachipa, lugar donde la industria ladrillera y de unidades de albañilería diversas, emergen de manera artesanal e informal. Se realizó la clasificación del tipo de suelo, y se identificaron los componentes mineralógicos.

Se fabricaron bloques compactados, Adobes y ladrillo artesanal, sobre los que se ha estudiado la influencia del cemento y la presión de compactación en parámetros como Resistencia a compresión, flexo tracción, Conductividad y Difusividad térmica. La metodología para caracterización del suelo se basa en métodos de campo y métodos de laboratorio estandarizados (ASTM), la identificación de componentes cristalinos usando la técnica DRX, la composición fisicoquímica bajo normas NTP 339.177 ; NTP 339.178; NTP 339.152; mientras que la caracterización mecánica de las unidades fabricadas se realizó de acuerdo a las normas de adobe (NTP E 0.80) y albañilería (NTP E 0.70), la caracterización térmica abordó el parámetro de la Conductividad Térmica bajo la técnica modificada de fuente plana transitoria, normalizada por ASTM D7984; y de Difusividad térmica la cual utilizó una adaptación del método de Angström propuesto para medición de sólidos conductores térmicos.

Los resultados de caracterización geotécnica de la tierra por clasificación SUCS corresponden a una arcilla de baja plasticidad (CL), en cuanto a la caracterización mineralógica se identificó a feldespatos como labradorita y arcillas, tales como la Mortmorilonita y Vermiculita. La composición fisicoquímica del material tierra presentó valores para cloruros (Cl), sulfatos (SO_4) y sales solubles de 216; 3921 y 4334

ppm respectivamente. Los resultados de resistencia a compresión de las unidades fabricadas, en comparación con los esfuerzos mínimos admisibles propuestos por la norma del adobe y de albañilería resultan satisfactorios, siendo estos entre los 10 hasta los 122 Kg/cm², calificándose este material, como un bloque de tierra compactado de alta resistencia según la norma española (UNE 41410), en cuanto a la resistencia a compresión de prismas, los resultados varían desde 18 hasta 77.7 kg/cm²; así también valores de flexotracción desde 4.52 hasta 12.26 kg/cm², los cuales se sitúan en niveles equivalentes y logrando superar al ladrillo tipo I, II, III, IV y V según la nacional ITINTEC 331.017. La medición térmica de la Difusividad se registra conforme a los mismos valores de compactación con los que fueron fabricados los adobes, ésta incrementa desde $2,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ hasta $5,3 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ cuando la tierra se compacta de 0 hasta 4,7 MPa, a su vez alcanzando una densidad en función a la presión de compactación desde 1712.86 hasta 2015.13 kg/m³, este parámetro es medible y comparable con otras unidades de albañilería. Mientras el parámetro de conductividad térmica presenta una clara tendencia al alza, conforme aumenta la presión de compactación y su consecuente concentración de cemento, se reportan valores desde 0.09 hasta 0.41 W/mk.

Palabras-clave: Adobes, adobes compactados, resistencia mecánica, comportamiento térmico, Difusividad térmica, Conductividad térmica, viviendas rurales, bioclimática.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El uso de la tierra para la construcción de espacios habitables data de hace miles de años, ha sido observado en los sitios arqueológicos más antiguos del Perú. En las ruinas de Caral (Supe 3500-4000 AC), se utilizó la tierra como argamasa para la unión de piedras en muros[1]; En las huacas del Sol y la Luna (Trujillo, 50-650 DC) se usaron adobes de igual tamaño, con formas definidas y marcas de los fabricantes[2, p. 101]; En la ciudad de Chan-Chan (Trujillo 600 DC) los muros de tierra, adobes y tapiales, se exhiben hasta hoy sobre un área de 20 km².

Actualmente, el adobe sigue siendo un elemento constructivo importante en nuestro país. El año 2013, fue empleado en aproximadamente 3 millones de viviendas [3]. Por este motivo, el adobe ha sido objeto de muchos estudios relevantes centrados en sus características mecánicas ya sea como bloques individuales o asociados, formando paredes, pisos, muros y techos. Se han establecido normas de fabricación referidas a su composición, forma y función como elemento estructural en viviendas y se han propuesto técnicas de reforzamiento antisísmicas. Una amplia información sobre los antecedentes e investigaciones actuales se pueden hallar en los siguientes trabajos: Gestión del riesgo: Metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones de adobe a nivel local [4], Desarrollo de la construcción de viviendas de adobe sísmicamente reforzadas en el Perú [5], Ensayos sobre simulación sísmica en dos módulos de adobe y quincha de 2 pisos[6] .

Sin embargo, sus propiedades térmicas no han sido analizadas con la misma intensidad. Un material se caracteriza térmicamente cuando se logran medir, su conductividad, difusividad, efusividad y capacidad calorífica. De estos cuatro, el coeficiente de conductividad térmica ha sido el más medido, usando técnicas estacionarias (placas calientes) o transitorias (aguja caliente, disco caliente). Algunos valores reportados para conductividad en adobe se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Conductividad y densidad para adobe publicados por diferentes fuentes.

Densidad ρ (kg m ⁻³)	Conductividad k W/(mK)	Fuente
1 200	0,46	Bestraten, S., Hormias, E., Altemir, A. (2011)
1 650	0,82	Heathcote, K. (2011).
750	0,20	Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., Iwaqui, C. (2011).
1 700	0,81	Bestraten, S., Hormias, E., Altemir, A. (2011).

Fuente: Elaboración propia.

La difusividad en cambio ha sido muy pocas veces medida en adobes, (no se han encontrado reportes locales anteriores a este). La difusividad indica la rapidez con la que se propaga el calor en un material ante un cambio de temperatura. Esto lo hace muy importante en una estrategia de confort térmico de una vivienda, porque permite evaluar el tiempo de retardo con que el calor superficial de la pared exterior de una vivienda llega a la superficie interior de la pared. En este trabajo se reporta la difusividad térmica de la tierra compactada con respecto a los valores de compactación con que se fabricaron los adobes así también parámetros como la conductividad térmica y propiedades mecánicas.

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Fabricar y caracterizar un material constructivo (adobe compactado, adobe convencional y ladrillo artesanal), con propiedades térmicas y mecánicas mejoradas para ser empleado en construcciones de viviendas rurales.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización geotécnica, mineralógica, fisicoquímica y clasificación del tipo de suelo.
- Fabricar adobes considerando el mismo material tierra, base para la fabricación de unidades de adobe compactado, adobe convencional y ladrillo artesanal para caracterizar sus propiedades mecánicas y térmicas.
- Determinar las propiedades mecánicas de los tipos de adobes fabricados: Compresión a la unidad, Compresión de prismas de albañilería, Resistencia a la Flexión.
- Determinar el parámetro de Conductividad térmica de adobes de suelo-cemento compactado.
- Implementar un sistema de medición de Difusividad térmica por el método de Amnstrong.
- Determinar el parámetro de Difusividad térmica de adobes de suelo compactado.
- Evaluar y medir la influencia de la presión de compactación y contenido de cemento sobre la resistencia a la Flexión, Compresión de unidades y prismas de adobes de suelo-cemento compactado (propiedades de resistencia mecánica).

- Evaluar la influencia de la presión de compactación y contenido de cemento sobre la conductividad térmica del adobe de suelo-cemento compactado.
- Evaluar la influencia de la presión de compactación sobre la Difusividad térmica del adobe de suelo compactado.
- Comparar y validar procedimientos y resultados con normas extranjeras donde el material ya ha sido cuantificado, difundido y estandarizado para su uso, a nivel estructural.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las últimas décadas se viene agravando la problemática de la vivienda, ya que existen miles de personas, que no disponen de una vivienda digna, debido al costo de materiales y mano de obra constructiva altos. En la actualidad, se sigue empleando el adobe como material predominante en las paredes exteriores de viviendas, siendo un 33.3% del total de viviendas particulares; de las cuales el 73% de éstas viviendas se encuentran en zonas rurales y un 21% en zonas urbanas o de costa [7]. De acuerdo a ello también se presenta la problemática de la vivienda social o vivienda rural, la cual se ve afectada por ser estructuralmente inadecuada, y vulnerable ante diversos fenómenos meteorológicos como las lluvias, el friaje, heladas, y donde no existe confort térmico alguno para sus habitantes [8], siendo los más afectados aquellos que viven en zonas rurales altoandinas. Este problema social merece ser resuelto ya que según las estadísticas los pobres extremos se concentran en el área rural del país, llegando al 80,8% y según regiones naturales, el 70,6% del total de los pobres extremos se encuentran en la Sierra [9].

Por otro lado se toma en cuenta el deterioro ambiental, esto se percibe a nivel mundial, afectando básicamente el medio ambiente, el cual viene siendo impactado, en cuerpos de agua, erosión de suelos bajo niveles altos de explotación, y emisión de gases de efecto invernadero, los cuales vienen siendo agravados por el sector construcción, precisamente la industria ladrillera[10] ,que usa como insumos, tierras con alto contenido de arcillas, las cuales se encuentran en zonas urbanas, o de valle costeros, donde se encuentran asentados localidades contiguas, afectando la calidad de vida de los moradores, debido a la explotación intensiva de sus suelos y a la quema de combustibles fósiles usados en el proceso de su producción.

En tal sentido, es necesario contar con materiales adecuados para la construcción de estas viviendas en especial en las zonas rurales y altoandinas, sin embargo los materiales de

construcción y unidades de albañilería existentes no cuentan con buenas características térmicas.

Por lo visto anteriormente, se ve en la necesidad de requerir el uso de Recursos renovables, para la elaboración de un nuevo material constructivo. En tal sentido en este trabajo de investigación se propone la fabricación de una unidad de albañilería , el bloque de tierra compactado, cuya materia prima será tierra y cemento en bajas concentraciones de insumos inocuos o en su defecto de impactos mínimos, esta tecnología propuesta consume menor cantidad de agua y por ser un bloque de tierra cruda no requiere de cocción[11]. Por tanto, se ahorrará energía en la producción de la nueva unidad constructiva propuesta y se contribuirá con el medio ambiente.

El bloque de tierra compactado, se presenta como una alternativa confiable de bajo costo energético, el cual usa recursos propios del lugar de emplazamiento, y por ser crudo no genera emisiones, a su vez presenta una adecuada resistencia mecánica y un buen comportamiento térmico, el cual tenga un proceso de autoproducción y asentando de sus unidades con el propósito de hacer viviendas del tipo autoconstructivo.

1.4. HIPÓTESIS GENERAL

La construcción de prototipos de adobes usando la técnica de suelo-cemento compactado presenta propiedades mecánicas y térmicas mejoradas que lograrán un mejor producto para la construcción de viviendas en las zonas altoandinas.

1.4.1. Hipótesis Específicas

- Las propiedades térmicas y físicas del adobe de suelo-cemento compactado son comparables con las correspondientes a adobes convencionales y adobes cocidos presentando valores adecuados y dentro de los rangos establecidos para unidades de albañilería.
- El mejoramiento del parámetro de difusividad térmica del adobe, usando la técnica del adobe compactado, podrá mejorar condiciones de confort térmico.
- Futuras investigaciones sobre conductividad y difusividad térmica de adobes compactados podrían orientarse a la construcción de muros para viviendas rurales y altoandinas, debido a que la pared es el elemento acumulador de calor el cual debe ser aprovechado para ser transferido al interior donde proveerá bienestar térmico a sus ocupantes.

1.5 JUSTIFICACIÓN

- En el Perú hay variedad de estudios y trabajos desarrollados sobre el adobe, pero muy pocos se basan en el análisis de las propiedades térmicas y mecánicas del adobe compactado. Por lo que el presente trabajo tiene la finalidad de estudiar este tema para proponer una solución técnica mediante la elaboración de prototipos de adobes mejorados para la construcción de viviendas en zonas altoandinas.
- El proyecto tiene como *justificación social* mejorar las condiciones de vida de la población altoandina y de habitantes de zonas rurales. El proyecto *se justifica técnica y económicamente*, por utilizar materiales disponibles a nivel nacional, ya que los insumos básicos para su elaboración son el mismo suelo y un porcentaje menor de cemento el cual es un insumo muy accesible en cualquier región del Perú.
- *La justificación ambiental* del presente estudio se basa en que la fabricación del adobe de suelo-cemento; es una alternativa ecológica; ya que no quema combustibles fósiles en su proceso de producción; utiliza contenidos de agua menores que otras piezas constructivas y cuyo mayor insumo es el propio suelo (tierra seleccionada y arcilla natural) y en menor proporción cemento.

1.6 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó en base a pruebas de campo y laboratorio, cuya experimentación se realiza en tres etapas; en la primera etapa referente a pruebas de selección y caracterización de la materia prima a usar: ensayos de campo cualitativos [12] en base al reconocimiento y existencia de componentes presentes en la muestra de tierra, test de campo y tactovisuales así como ensayos de laboratorio correspondientes a estudios de mecánica de suelos [13] a nivel cuantitativo y una posterior clasificación del tipo de suelo en base a estos resultados.

La segunda etapa, trata de la fabricación de las unidades, previamente se determinan los parámetros de Diseño, tales como el contenido de humedad óptimo aportado a la mezcla, concentraciones del conglomerante añadido, la selección de las presiones de compactación adecuadas, así como la geometría y dimensiones del bloque.

Para la fabricación de adobes compactados se consideran los siguientes procesos: Preparación de la tierra y mezclado, incluye tamizado y pesaje de los componentes secos y del agua para la mezcla; Disposición de la mezcla en el molde de compactación, dándose una distribución uniforme de la masa húmeda dentro del molde matriz;

Compactación de la mezcla, se debe garantizar la verticalidad para tener un bloque simétrico; desmolde de bloques compactados, incluye apilamiento, secado y verificación de parámetros ambientales.

La tercera etapa corresponde a los ensayos realizados a la unidad fabricada, ensayos normalizados de resistencia mecánica [14] y comportamiento térmico de la unidad. Por último se lleva a cabo la presentación de los resultados y el análisis respectivo.

El grado de confiabilidad de los resultados se sustenta en el uso de métodos estandarizados de testeo así como el uso de instrumentos de medición, tanto para la determinación de la resistencia mecánica, basados en normas ASTM[15],[16],[17] , así como para el análisis del comportamiento térmico de Conductividad bajo la normalización ASTM D7984, y Difusividad térmica el cual usó el método de Angström para la obtención de la difusividad térmica del bloque de tierra compactado.

1.7 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En los últimos años se ha ido incrementando el interés por mejorar las condiciones de seguridad, confort y climatización de espacios habitables en viviendas rurales y zonas altoandinas; a través del estudio de materiales como el adobe, tanto en su fabricación y posterior mejoramiento del proceso constructivo de viviendas

En tal sentido, diversas entidades tanto del gobierno, instituciones académicas, y organismos no gubernamentales, han venido realizando el estudio de materiales convencionales como el adobe, tapial y quincha los cuales priorizan elementos locales como la tierra, ichu y carrizo, usados apropiadamente considerando el medio físico, social y usos y costumbres de la zona. Se presentan los resultados hasta el momento de los diversos estudios térmicos y mecánicos realizados al adobe, desarrollados a nivel nacional e internacional los cuales se describen a continuación.

CASO PERUANO

2008- Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas (zona de la costa) y (zona sierra). Marcial Blondet et al. (Informe)[18],[19]

Los informes fueron desarrollados para colaborar con los afectados por el sismo del 15 de agosto del año 2007. El primero se dedicó a las viviendas de la costa, el siguiente se centra en la edificación de casas en la región de la sierra. A través de una explicación simple y directa, respaldada por gráficos ilustrativos, sus autores proponen un modelo de

construcción —el de adobe reforzado con geomallas— que resulta indispensable para edificar viviendas resistentes a los sismos que frecuentemente asolan nuestro país.

2009- Adobes comprimidos suelo-cemento una alternativa ecológica. Godofredo Choque R y Julio Huamán M. XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Chiclayo, Perú: Universidad Señor de Sipan. [20]

El Departamento de Investigación y Tecnología Apropriada, de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez - Juliaca, con el propósito de mejorar las condiciones de vida de la población altiplánica, ha desarrollado mejoramientos en la utilización de técnicas del adobe, sobre todo en una nueva alternativa constructiva como son los adobes comprimidos de suelo-cemento. La investigación propone implantar una tecnología ecológica y económica, señalando las dificultades más importantes y determinando las ventajas que ofrece la utilización de los adobes compactados, ahorrando en el costo total de la edificación.

2012-Gestión del riesgo: metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones de adobe a nivel local. Moromi Nakata- UNI. (Tesis Maestría)[4].

La autora propone una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones de adobe, basándose en las características dimensionales de la unidad y de muros así como el reforzamiento de estos. Para ello utilizó el programa de simulación sísmica NonLin con una data de 10 sismos ocurridos en el Perú, con los resultados obtenidos en su investigación establece el procedimiento para la vulnerabilidad de las edificaciones de adobe, enfocándose en las dimensiones de la edificación, el tipo de mortero y de reforzamiento, las relaciones dimensionales de los muros de acuerdo a la normativa vigente y la densidad de estos muros, que se comparan con las mínimas exigidas por normas, usando las aplicadas al país, como la norma de albañilería E-070 y E.080 norma del adobe.

2012-“Evaluación funcional y constructiva de viviendas con adobe estabilizado en Cayalti. Programa COBE -1976”. López y Bernilla-UNI (tesis maestría) [21].

Esta investigación aborda el tema de la vivienda social construida con adobe, donde se evaluaron un conjunto de 100 viviendas construidas en el año 1976 con Adobe estabilizado denominado Programa COBE (Construcción con Bloques Estabilizados), en la ex-cooperativa Cayalti - Chiclayo. Esta experiencia está basada en el Proyecto de

investigación que instituciones nacionales como el Ministerio de Vivienda y Construcción, Banco de la Vivienda del Perú, y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), e internacionales como la Agencia para el Desarrollo Internacional (AID) realizaron a principios de la década del 70, como consecuencia del sismo de ese año que ocasionó la destrucción de 70,000 viviendas. El Programa Cobe, abordó el problema de la estabilización de suelos mediante el uso de emulsiones asfálticas, abarcando también los aspectos de reforzamiento del adobe ante solicitaciones sísmicas.

Después de transcurridos 35 años, el objetivo del estudio consistió en la evaluación en términos funcionales y constructivos de este conjunto de viviendas, que a la fecha siguen prestando servicio.

2017-Norma técnica E-080 “Diseño y construcción con tierra reforzada”. Ministerio de vivienda construcción y saneamiento- Perú (Norma)[22]

Recientemente ha sido publicada la nueva Norma de Tierra NTE E.080 “Diseño y Construcción con Tierra Reforzada”, que se ha publicado luego de 18 años de la anterior norma NTE E.080 “Adobe”. Esta nueva versión de la norma incluye las técnicas de Adobe y Tapial. El documento cuenta con cuatro capítulos principales dedicados a la “Consideraciones generales para la construcción de edificaciones de tierra reforzada”; “Construcción de edificaciones de tapial reforzado”; “Construcción de edificaciones de adobe reforzado” y “Obras patrimoniales de tierra”, además de las disposiciones generales y los anexos.

2017-Programa nacional de vivienda rural PNVR. Ministerio de vivienda construcción y saneamiento (MVCS)[8]

Es meritorio los esfuerzos realizados por el Ministerio de Vivienda construcción y saneamiento, en cuyos planes y estrategias de trabajo, están el apoyo a viviendas sociales, en el Plan Nacional de Vivienda Rural PNVR, donde a través de filtros socioeconómicos previos se hace la evaluación de las familias y las viviendas asentadas en zonas rurales de pobreza y pobreza extrema, para desarrollar la fabricación de viviendas económicas y dignas, cuyo valor enfatiza en una construcción resistente, limpia, segura y comfortable.

El programa consiste en capacitar a los beneficiarios y sus familias en la elaboración de adobes, proceso de construcción en adobe, en madera o concreto, según sea el material elegido de acuerdo a la altitud de la zona de intervención.

2018-Modelamiento numérico del comportamiento sísmico de viviendas de mampostería con bloques de tierra comprimida. Herrera Villa. PUCP (Tesis).[23]

En este trabajo se realizó la caracterización experimental de mampostería con BTC con un tipo especial de bloque, que no requiere juntas de mortero, lo cual agiliza el proceso constructivo. El estudio también incluyó ensayos en una mesa vibratoria de un prototipo de vivienda a escala real. En este trabajo se realiza el modelamiento numérico del comportamiento sísmico del prototipo de vivienda ensayado, aplicando técnicas de macro-modelamiento.

Se concluye que el modelo numérico desarrollado empleando el método de elementos finitos bajo el enfoque de macro-modelamiento tiene el potencial de representar el comportamiento sísmico del prototipo; sin embargo, debido a características propias del tipo de mampostería evaluado, la capacidad numérica es ligeramente sobrestimada.

2018-Los bloques de tierra comprimida (BTC) y su influencia en el costo de construcción de viviendas sociales en zonas de habilitación en laderas de la ciudad de Huancayo –Montes Galarza. Universidad Continental. Huancayo (Tesis).[24]

La investigación propone proyectos de módulos de viviendas sociales en Arquitectura, estructuras, Instalaciones Eléctricas e Instalaciones Sanitarias mediante el sistema constructivo del Bloque de Tierra Comprimida, además de estar ubicadas en zonas de habilitación en Laderas y una comparación extensa con las viviendas sociales de ladrillo cocido. Teniendo en cuenta que se consideró dimensiones y características de diseño iguales, y se haga más adecuada la comparación en Metrados y rendimiento de la mano de obra, así como también de los materiales, en las cuales se visibilizan las grandes diferencias entre el uno y el otro, concluyendo con el análisis de costos en obra.

CASO MUNDIAL

2007- Bloques de tierra comprimida (BTC) sin adición de cemento. Galindez Fernando. Universidad Católica de Salta- Argentina (Artículo de investigación).[25]

Esta investigación estudia un material alternativo, bloque de tierra cruda comprimido (BTC) sin adición de cemento, para la construcción de muros. La eliminación del cemento de la mezcla del mampuesto BTC, responde fundamentalmente a dos razones, una económica por cuanto el precio del cemento encarece el costo del mismo y otra ambiental que tiene que ver con el impacto que produce el proceso de fabricación del cemento, lo

cual le añade un costo ambiental, a pesar de tener mucho menor impacto ambiental que los ladrillos de tierra cocida, habida cuenta que el material es crudo. Este mampuesto de tierra cruda elimina en su fabricación la etapa de cocción, que implica la emisión de contaminantes a la atmósfera sino también por el consumo de recursos no renovables (leña de bosques nativos y gas natural) a la vez que elimina también el uso de aditivos artificiales (cemento, cal, asfalto, etc.) que también tienen un costo importante desde el punto de vista del ambiente. Finalmente se demostró empíricamente que los mampuestos tipo BTC realizados con tierras Areno-Arcillosas de mediana plasticidad, debidamente compactados e impermeabilizados con aceite usado de vehículos, constituyen un mampuesto confiable para la construcción.

2008-Norma UNE 41410. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. AENOR. España (Norma)[26]

La norma ha sido elaborada por el subcomité técnico AEN/CTN 41 SC10 *Edificación con tierra cruda*, cuya secretaría desempeña el Departamento de Construcción y Vías rurales de la ETSI Agrónomos de Madrid.

Esta norma tiene por objeto definir los bloques de tierra comprimida utilizados en fábricas de albañilería por ejemplo fachadas vistas y revestidas, estructuras de carga y no portantes, muros y particiones interiores. Fija las prestaciones que deben cumplir los bloques y los ensayos propios para determinarlas, así como el marcado que permite identificarlas, la norma también sugiere el uso de normas complementarias para la caracterización del material y métodos de ensayo.

2008- Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. Gernot Minke. Alemania (libro) [27],[28]

Se han revisado diversas investigaciones en el mundo, entre las cuales destacan los trabajos arduos y esmerados de Gernot minke, arquitecto alemán que ha desarrollado proyectos de construcción y vivienda en tierra, enfatizando la parte estructural a fin de tolerar la actividad sísmica que generalmente se ve en América Latina, en este campo en específico, realizó el estudio a nivel estructural de unidades de albañilería hechas en tierra, tales como el tapial, bahareque o quincha, textiles rellenos de tierra húmeda, el adobe, bloques compactados de tierra, y bloques de suelo-cemento, hace recomendaciones en cuanto al tipo de emplazamiento, topografía y geografía del lugar, evitando posibles daños por deslizamientos o huaycos y debido a fuerzas horizontales sísmicas que

impactarían en la vivienda, también promueve métodos constructivos, como el uso de cimientos y sobrecimientos, uso de amarres , disposición en planta, y la morfología de las unidades, pudiendo estas tener aberturas en cuya disposición fueren colocados estructuras verticales como caña, carrizo o el fierro corrugado, el tipo de las unidades en cuanto a los que fuesen compactados sugiere que sean del tipo machihembrados, los cuales no necesitarían mortero aplicado entre juntas, también recomienda la disposición de las piezas de amarre antes mencionadas a manera horizontal con el fin de tolerar la acción de fuerzas horizontales como los sismos.

2011- Bloque de tierra comprimida como material constructivo. Medina et al. Universidad Pedagógica Tecnológica de Colombia. (Artículo)[29]

Este artículo presenta la tierra como material constructivo, las técnicas o sistemas constructivos, los bloques de tierra comprimida (BTC) y algunos ensayos realizados a estos bloques. El objetivo de esta investigación es dar a conocer algunos de los materiales de construcción fabricados con tierra y usados en construcciones convencionales, como el bloque de tierra comprimido; al igual que algunos de los ensayos realizados para obtener un producto de mayor rango de uso, coherente con los materiales constructivos originales de edificios patrimoniales y para viviendas nuevas.

2012- Study of a new interlocking stabilized compressed earth blocks (Eires et al.,) Africa (Journal) [30].

La investigación parte con la intención de reducir la deforestación extensiva en varios países de África que usan hornos de quemado para fabricación de ladrillos, proponiendo el uso de bloques de tierra comprimida estabilizados (CEB). Los bloques resultantes presentan valores más altos de resistencia y durabilidad, así como formas uniformes. Debido a que estos bloques no estén quemados y que el transporte pueda omitirse los convierte en un material barato con muy poca energía incorporada. En este contexto, se desarrolló el estudio para la fabricación de CEB de acuerdo con los diferentes materiales disponibles en Malawi usando también al cemento como agente estabilizador, dosificándose en 0, 3, 5, 7, 9 %. Se obtuvo que la resistencia a compresión aumenta conforme se aumenta el porcentaje de cemento en la mezcla, pero además, se requiere un porcentaje mínimo para tener adecuada resistencia a compresión.

2013- Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida. Pablo Mosquera Arancibia. Universidad Politécnica de Madrid (Tesis doctoral)[31]

En esta tesis se desarrolla un método de medición de conductividad térmica para piezas de albañilería de tierra cruda basado en el método de la aguja térmica (MAT) donde se mejora su fiabilidad, incertidumbre y se compara con otros métodos de referencia. Se aplicó en adobes, bloques de tierra comprimida y probetas de tierra estabilizada con distintas proporciones de paja.

La investigación propone modelos matemáticos para mejorar la exactitud del dispositivo utilizado, aborda los parámetros que definen la inercia térmica como la estimación de la conductividad en cerramientos de tierra en función de su densidad, con los resultados obtenidos se analizan las posibilidades de amortiguación y retardo de las ondas térmicas y capacidad de almacenaje de energía de los cerramientos en función de su densidad y humedad.

2013-Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia. Calderón Peñafiel. Universidad Politécnica de Catalunya (Tesis)[32]

Este trabajo se enfoca en el estudio de bloques de tierra de gran resistencia y en las tecnologías que existen actualmente para su fabricación, se aborda el problema de la desventaja de los ladrillos de tierra cruda frente a mampuestos de tierra cocida, hormigón y otros materiales, debido a sus características resistentes. Presenta una aproximación histórica y recolecta información sobre la oferta actual de mampuestos en tierra, también señala el contexto normativo mundial y se estudian investigaciones realizadas en los últimos años sobre diferentes estrategias para mejorar las características resistentes de los bloques de tierra, también se desarrolla ensayos de laboratorio usando diferentes estabilizantes y dosificaciones.

2014- Promoting earth architecture as a sustainable construction technique in Egypt. Sherin H. Sameh. Egypto (Journal). [33]

El estudio promueve el uso de materiales y métodos de construcción de viviendas baratos y de bajo impacto ambiental frente a la escasez de recursos, problemas energéticos y la contaminación resultante del uso de materiales de construcción convencionales.

La investigación menciona la creciente demanda de viviendas asequibles en Egipto, lo cual presenta una buena oportunidad para revivir el uso de materiales tradicionales como la tierra con sus técnicas simples, baratas y rápidas que podrían satisfacer la necesidad de un material de construcción alternativo, logrando ser exitoso en comparación con otros materiales de construcción convencionales que dominan el mercado hoy en día (como el hormigón y el acero) todo ello a fin de cumplir con estas demandas y aplicando la sostenibilidad en el sector de la construcción a largo plazo.

2016 - Measuring Thermal Conductivity by A°ngstrom's Method. *Physics Department, the College of Wooster. USA. Michael Wolf. (Journal)*[34]

En esta investigación se detalla un método experimental de medición de la conductividad térmica de una barra de latón, se midió periódicamente calentando un extremo de la varilla, encendiendo un calentador conectado a la varilla y generando una señal de onda cuadrado de 10 mHz, se enviaron ondas de calor a lo largo de la barra, medida por dos termopares. Y tomando estas temperaturas en función del tiempo, se aplicó una transformada de Fourier en un segmento de datos de 15 períodos, lo que permite utilizar las amplitudes y fases para generar armónicos. Se hizo tres mediciones distintas de la conductividad térmica de la barra de latón. Para los tres primeros armónicos que contribuyen en la transformada de Fourier, $n = 1$, $n = 3$ y $n = 5$, Se encontró un valor promedio de conductividad térmica de 103 ± 2 W/mk. Este resultado da un pequeño error de 5% con respecto al valor aceptado de 109 W /mk.

2017- Thermal conductivity of cement stabilized earth blocks. *Zhang et al. University of Architecture and Technology. China (Journal)* [35]

El estudio se basa en el efecto de la Densidad aparente y el contenido de cemento en la conductividad térmica de bloques de tierra estabilizados con cemento (CSEB). Los resultados experimentales muestran que la conductividad térmica aumenta en función de la densidad aparente; los cambios en el contenido de cemento resultan en una pequeña variación en conductividad térmica de CSEB a una densidad aparente dada sin relación lineal obvia entre la conductividad térmica y el contenido de cemento de CSEB. Sin embargo, se ha obtenido un aumento significativo de la resistencia a compresión de CSEB causada por la adición de cemento; además, la fuerza de compresión de CSEB aumenta al aumentar el contenido de cemento. El CSEB muestra gran potencial en edificios de tierra debido a su resistencia a la compresión mejorada y conductividad térmica reducida.

Además, reporta la influencia de diferentes tipos de estabilizantes, dosificaciones y métodos mixtos. Finalmente sugiere investigar la conductividad térmica de los bloques de tierra estabilizados en trabajos posteriores.

2018- Criteria for accurate measurement of thermal diffusivity of solids using the Angstrom method. Arpana Prasad, Amrit Ambirajan. India (Journal)[36]

Este artículo presenta Criterios para medir con precisión la difusividad térmica de un material sólido utilizando el Método Angström. En esta técnica, se suministra una carga térmica periódica en un extremo de la muestra y las temperaturas se miden en diferentes lugares a lo largo de la muestra. La difusividad térmica se estima a partir de las mediciones de Amplitud y las oscilaciones de temperatura, tomándose en varios puntos a lo largo de la muestra. Se presentan criterios para parámetros de medición importantes, como la potencia de carga de calor periódica, la forma de onda y la frecuencia. Debido a que se utilizaron más de dos sensores, se logra que la precisión mejore aún más debido a la linealidad de la fase y la amplitud.

Se estableció experimentalmente que una carga de calor de entrada sinusoidal de frecuencia definida por los criterios establecidos en este artículo da como resultado una mejor precisión en la medición. Con base en estos criterios, la experimentación se realizó con una gama de materiales que abarcan difusividades térmicas de baja a alta, a saber, teflón, G10, aleación de titanio (Ti6Al4V), acero inoxidable (SS316) y aleación de aluminio (Al6061-T6). Los resultados indican que los valores de difusividad térmica medidos se desvíen de los datos de la literatura a temperatura ambiente en menos de 2.1%.

- Por lo visto anteriormente en estos trabajos no se han estudiado las propiedades mecánicas y térmicas de Conductividad y Difusividad térmica del adobe compactado en simultáneo, pero si se han desarrollado experiencias en análisis estructural del adobe convencional y adobe compactado así como la mejora del proceso constructivo de reforzamiento antisísmico.
- Estudios sobre propiedades térmicas de adobes compactados hay nulos en el Perú y muy pocos en el mundo. El presente trabajo tiene por finalidad abordar este tema, en el cual se proponen prototipos de unidades de adobes compactados que tienen propiedades mecánicas y térmicas mejoradas para su uso en viviendas altoandinas.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL ADOBE

2.1.1. El adobe y el bloque de tierra comprimido (BTC)

El Adobe es definido como un bloque macizo de tierra cruda, que puede estar mezclado con paja o arena gruesa para mejorar su resistencia, durabilidad y estabilidad frente a agentes externos, para su fabricación se debe contar con tierra adecuada cuya gradación es arcilla:10-20%; limo:15-25%; arena 55-70% [12] , de estos la Arcilla es el elemento que le otorga plasticidad cuando se mezcla con una cantidad de agua menor al límite de contracción y mayor al límite líquido, está conformado por partículas submicroscópicas (menor a 0.002mm) proveniente de silicatos de aluminio, presenta estructura rígida cuando esta seca y vítrea cuando es calcinada a altas temperaturas[37], otros autores definen al adobe como una masa de barro frecuentemente mezclada con paja y a veces con guijos, moldeado de forma prismática como los ladrillos y de tamaño variable, secado al aire y empleado en la construcción de muros, paredes, tabiques y como elemento de muros entramados de madera[38] .

Los BTCs son piezas de albañilería en forma de paralelepípedo rectangular obtenido por comprensión estática o dinámica de tierra húmeda, seguido de un desmolde inmediato y que puede contener estabilizantes o aditivos para alcanzar o desarrollar las características particulares de sus constituyentes[26], otras fuentes indican que son piezas prismáticas de tierra cruda para albañilería, reciben una presión estática dentro del molde (desde 0.8 hasta 20mm²) que lo hace más resistente a compresión, más denso y menos higroscópico, se suele mezclar con aditivos estabilizantes, generalmente cal o cemento, en una proporción en peso de 2 a 6% [31]

2.1.2. Estabilización de suelos

La incorporación de estabilizantes normalmente es para mejorar alguna característica mecánica como la resistencia a la erosión producida por agua, resistencia a compresión o para disminuir la retracción durante el secado.

Existe gran variedad de productos estabilizantes, como los estabilizantes químicos : cal, yeso, cemento, caseína, silicato de sodio, betún, asfalto, cera, sikalátex, de Origen vegetal como la melaza del cactus, aceite de linaza, aceite de coco, suero lácteo; fibras vegetales, animales y sintéticas como: la paja, pelo de animales y fibras plásticas.

La elección de cada una de éstos, dependerá de las características iniciales del material y de las condiciones que se requiera mejorar del mismo, con el fin de transformarlo en un suelo que tenga condiciones mecánicas estables y sirva para cumplir con los propósitos que se requiera; para ello UNE de acuerdo a la granulometría del suelo y los límites líquido y plástico, sugiere el diagrama: “Zona recomendada según plasticidad de tierras” y la gráfica “Zonas preferenciales de estabilización en función de la plasticidad”, donde se puede situar el suelo estudiado en las zonas comprendidas del 0 al 13 y estabilizar según indique (del 0-3 con asfalto; de 4-9 con cemento; de 10-13 con Cal).

2.1.3. Implicancia de los estabilizantes en la capacidad térmica del adobe.

La implicancia es compleja y es un campo abierto a la investigación, su influencia varía dependiendo de la modificación de la densidad y porosidad del material resultante en mayor medida que la propia composición del estabilizante. En general los productos que disminuyen la densidad del adobe, disminuyen también su conductividad y viceversa. Por otro lado se produce un efecto indirecto en la capacidad térmica del bloque ya que normalmente los productos estabilizantes reducen la higroscopicidad natural del adobe, con lo que disminuye el contenido de humedad y la capacidad de almacenamiento de calor debido al agua. Así el estabilizar con yeso se obtiene una menor conductividad que con el cemento[31].

2.1.4. Microestructura del suelo debido a la adición de estabilizantes.

Para mejorar las propiedades físicas de los materiales de construcción convencionales como el adobe o bloques de tierra, se introducen comúnmente estabilizantes como fibras vegetales o estabilizantes químicos, pero a pesar del impacto positivo de estas enmiendas sobre la calidad de los adobes, se ha prestado muy poca atención sobre los efectos en la microestructura de los materiales de construcción convencionales.

Existe un mejoramiento de suelos por procesos de estabilización como son las adiciones de cal o cemento, se han reportado que las adiciones de cal originan la formación de calcita e hidratos de silicato de calcio [39], otro estabilizante como es el cemento genera portlandita y compuestos formados a partir de la reacción de los componentes mineralógicos del suelo como el cuarzo y feldespatos, también la contribución de las reacciones puzolánica entre el componente arcilloso del suelo y el estabilizante.

La adición de estabilizantes logra la mejora de la resistencia mecánica y compacidad de bloques de tierra, sin embargo mayores adiciones de éste genera efectos perjudiciales sobre estas propiedades.

Características físicas y mecánicas del adobe

Las características físicas pasan por el análisis de los tipos de tierra, selección de la misma y diversos métodos de campo y laboratorio para su posterior caracterización. Las características mecánicas se presentan en la fabricación de las unidades de adobe.

Las propiedades físicas son el contenido de la humedad natural presente en el suelo, contenido de arcilla, determinación de finos, límite líquido, límite plástico, índice plástico y retracción lineal. Estas pueden expandirse o contraerse, cambiar con la temperatura, debido que es un material que absorbe la humedad (alta acción absorbente).

Entre las propiedades mecánicas se encuentran la Resistencia a la compresión, Resistencia a la flexión y Módulo de rotura.

2.2 SELECCIÓN DE LA TIERRA

2.2.1 Selección de la tierra para fabricar el adobe.

La tierra para hacer adobes debe estar formada por 25 a 45 % de limos y arcilla y el resto de arena. La proporción máxima de arcilla será del 15 al 17 % [40].

- No debe tener piedras muy grandes, ni residuos vegetales.
- No se debe utilizar tierra negra o de cultivos.

Las tierras inadecuadas se pueden identificar por su sabor o color, de acuerdo a:

- Tierra con materia orgánica: color negruzco.
- Tierra salitrosa: color blanquecino y sabor salado.

2.2.2 Composición y Caracterización de la tierra.

Es de gran importancia, el conocer el origen de los suelos, sus características, su comportamiento y algunos procedimientos para su identificación, ya que algunos tipos de suelos no son aptos para la producción de materiales de construcción y otros sólo son apropiados para ciertas técnicas de edificación [41, p. 9]

Básicamente cualquier tierra, puede ser utilizada como material de construcción, excepto las altamente orgánicas o aquellas que presentan excesivo o predominante contenido de arcillas expansivas[42, p. 101]. No se deben usar las tierras superficiales, por ser tierras

con alto contenido orgánico, sino aquellas que se encuentran por debajo de la cobertura vegetal del suelo. Se recomienda usar aquellas que se encuentran a unos 50 o 60 cm de profundidad por debajo de la superficie, libre de grandes piedras y raíces[43, p. 5]

Se recomienda tener diversos tipos de tierra, para determinar de acuerdo a los ensayos de caracterización, se selecciona la más adecuada para el método constructivo que se va realizar. Debido que las características del suelo varían de un lugar a otro, es necesario saber la composición específica de la tierra que se va usar, para poder definir sus características y modificarlas en caso de ser necesario. Para ello existen diferentes tipos de ensayos, tanto de campo como de laboratorio.

Se tuvo que hacer el proceso de analizar su composición, realizar el reconocimiento de los compuestos o materiales que se encuentran en la muestra de suelo a utilizar, por ello se presentan los métodos de campo y los de laboratorio que fueron usados, basándose en normas ASTM o su equivalente MTC-PERÚ la cual devenga en una posterior clasificación, que defina por normas estandarizadas el tipo de suelo al cual pertenece.

Las principales características de la tierra se definen por la granulometría, la plasticidad y el tipo de arcilla[44, p. 12] . Las dosificaciones de los componentes para la elaboración del adobe común se basa en la fabricación convencional o de campo que los pobladores desempeñan y cuyo conocimiento fue aprendido a lo largo del tiempo; mientras la dosificación en la fabricación del bloque de suelo compactado se define tomando en consideración los resultados obtenidos de las pruebas de campo y laboratorio del material tierra empleado. También se deberá tener en cuenta lo señalado en la norma técnica de edificación E.080 Adobe.

2.2.3 Métodos de campo

La inspección visual es generalmente suficiente para permitir una rápida y correcta identificación de la granulometría y de la forma y tamaño de los granos de suelos granulares gruesos, es decir arena y grava [45, p. 351]. Sin embargo para la identificación de los granos finos, existen métodos de campo y laboratorio que identifican cualitativamente los suelos.

Los Métodos de campo proporcionan información general y rápida sobre el tipo de tierra que se tiene y para qué podemos usarla, éstos deben contrastarse con resultados de laboratorio, pudiendo ser empleados para seleccionar suelos adecuados. A continuación

se fundamenta el principio de los métodos de campo considerados en normas como la nacional NTP E080 y manuales técnicos como el de SENCICO, los cuales pueden ser utilizados por personas que realizan la autoconstrucción de sus viviendas.

2.2.3.1 Prueba de Decantación de partículas

Esta prueba sirve para estimar la proporción de los componentes principales (arena, limo, arcilla) de la tierra, de este modo las partículas de mayor tamaño se depositan en el fondo y las más finas en la parte superior [20, p. 2], sin embargo no se puede asumir de manera definitiva los porcentajes reales entre arena, limo y arcilla, debido a que los estratos diferenciables corresponden con cambios más bruscos en el tamaño de las partículas, que no necesariamente corresponden con los límites de clasificación definidos.

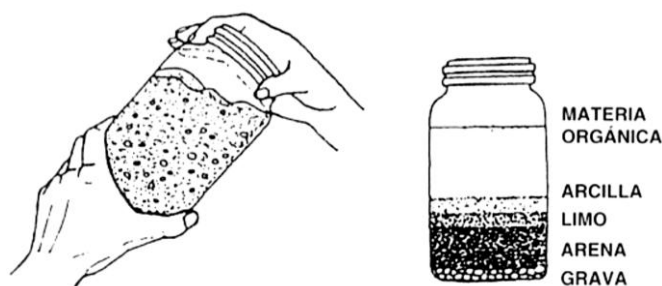


Figura 1. Ensayo de sedimentación. Ensayo de campo [20, p. 2]

2.2.3.2. Prueba de Contracción (prueba de la caja)

La contracción lineal de un suelo se define como la reducción en la mayor extensión de un espécimen de forma prismática rectangular elaborado con la fracción de suelo que pasa la malla N° 40 (0.425), se expresa como un porcentaje de la longitud inicial del espécimen [28]. Esta prueba permite detectar tierras que debido a su contenido de arcilla presentan contracciones al pasar de un estado de humedad a un estado seco, éste fenómeno depende del tipo y la cantidad de arcilla siendo más acentuado con la presencia de *mortmorilonita* y la distribución granulométrica de limo y arena [42, p. 109].

La prueba de contracción lineal es muy útil como indicio de arcillas expansivas tales como la “*Mortmorilonita*”, se sugiere que un suelo ideal, tenga bajo contenido de estas por la peligrosidad que presentan en el fenómeno de variación de volumen; con los cambios de humedad debido a procesos de absorción y secado del agua, lo cual provoca

alteración de su volumen y no lo recupera [46, p. 3], cuanto mayor sea el valor de la contracción lineal, más susceptible será el suelo a dichos cambios.

Para obtener el porcentaje de Contracción Lineal se utilizó la siguiente relación:

$$CL = \frac{\text{Long } i - \text{Long } f}{\text{Long } i} * 100 \quad (1)$$

El encogimiento de la muestra de tierra en la caja nos determina la existencia del componente arcilla y una posible estabilización de la tierra si la retracción lineal no está dentro de los porcentajes recomendados por fuentes bibliográficas [47, p. 28] ; el cual señala que no puede pasar más del 3% ni menor al 0.3%, entonces sería necesario estabilizar el suelo añadiendo por ejemplo arena, para rebajar la alta retracción lineal o el uso de algún otro estabilizante.

También se puede hallar la Retracción lineal, una vez que se tenga el valor del índice plástico (IP) y adoptar la relación entre éste y la retracción lineal, según el diagrama del State Highway Laboratory (USA) [48] expresada en la siguiente ecuación:

$$\text{Retracción lineal} = 0.654 \text{ IP} - 0.00333 \text{ IP}^2 \quad (2)$$

Estos valores mencionados como el IP se obtendrán a partir de ensayos de laboratorio que se realizaran después de haber concluido los ensayos de campo.

2.2.3.3. Prueba de la cintilla

Esta prueba nos da información de la cohesión del suelo en estudio [49, p. 27], así como la existencia de arcillas y arenas presentes en el suelo. Consiste en hacer una cinta de barro y hacerla descolgar, si la cinta se rompe a los 20cm denota que es una tierra muy arcillosa, si se corta entre los 10 y 15 la tierra es equilibrada, si se corta antes de los 10cm el suelo tiene muy poco contenido de arcilla, si se rompe a los 5 cm el suelo es muy arenoso. El exceso de uno u otro material se puede corregir, cuando es muy arcilloso se le puede agregar arenas o fibras y si es arenoso se puede agregar tierras arcillosas [49, p. 28].

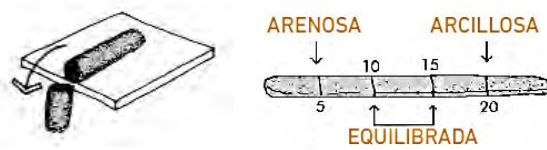


Figura 2. Test de la cintilla. [50, p. 9]

2.2.3.4. Prueba de impacto de la bola húmeda (ball dropping test)

Esta prueba se realiza con el fin de observar la existencia de arcillas y su nivel de empaque o aglutinación, al agregarle cierta cantidad de agua en la mezcla.[20, p. 2] consiste en hacer una bola húmeda de tierra y dejarla caer de 1m de altura. Si la bola se aplasta ligeramente, el contenido de arcillas es alto. Si se desintegra completamente, el contenido de arena es elevado. Pero si se desmenuza en porciones grandes, la composición y consistencia de la tierra está en el rango adecuado para su utilización en la fabricación de adobes.[42, p. 105].

2.2.3.5. Prueba de solidez (prueba de resistencia seca)

Mediante esta prueba se puede constatar la resistencia seca del material ya que los suelos arcillosos presentan más dureza en un estado seco que el suelo de tipo arenoso [51, p. 47]. Se trata de hacer en promedio 4 bolas del material tierra que se va usar y esperar a que sequen durante 48 horas bajo sombra, pasado el tiempo de secado, se les deben presionar y verificar si presenta fracturas[12, p. 20]. Si la bola se fractura, el tipo de suelo no sirve para elaborar adobes, ya que no presenta arcillas, por el contrario si no se fractura, el suelo si puede ser usado para la fabricación de adobes por tener buen contenido de arcillas.

2.2.4. Métodos tacto-visuales

Estas pruebas son el equivalente a las pruebas químicas, ya que evidencian la existencia de componentes químicos, como carbonatos, materia orgánica, sales y sulfatos, sin embargo son pruebas sensoriales y por tanto subjetivas, pero replicables en campo.

2.2.4.1. Prueba de observación de color

El objetivo de esta prueba es observar el color del suelo. Los colores claros y brillantes caracterizan a un suelo inorgánico; mientras los colores oscuros, verde olivo, castaño oscuro y negro caracterizan a un suelo orgánico[51, p. 35] . Las tierras de color blanco o gris pueden contener caliza, yeso o coral y esto las haría erosionables; los tonos gris claro, indican la presencia de limos y/o carbonatos de calcio, son poco cohesivos y corrosión

fácil, Tonos amarillos y ocres, contienen hidratos de carbono y los rojos a castaño oscuro, contienen oxido de fierro, siendo suelos resistentes [42, p. 107].

2.2.4.2. Prueba de la brillantez

Esta prueba detecta la presencia de arcillas mediante el brillo de sus partículas, para ello se amasa una bola húmeda de tierra y luego se corta por la mitad, si presenta superficies brillantes se trata de arcillas; mientras que los limos presentan superficies poco brillantes y se trata de arenas cuando las superficies son opacas [49, p. 24].

2.2.4.3. Prueba olfativa

Esta prueba es del tipo sensorial y tiene por objeto el apreciar el olor que despide una muestra de suelo. Naturalmente el suelo inorgánico es inodoro, pero por la presencia de partículas orgánicas o presencia de humus, generalmente la muestra despide un olor a moho [32, p. 52].

2.2.4.4. Prueba dental o de la mordedura

La finalidad de esta prueba es el reconocimiento de sus componentes granulares, refiriéndose a las gravas, arenas y limos, mediante el rechinado del material, al ser aplastado entre los dientes. Si el suelo es predominantemente arenoso, las partículas duras rechinan entre los dientes a manera desagradable, mientras las partículas de limos, son más pequeñas y rechinan ligeramente [51, p. 34]. Pero si las partículas no rechinan ni se percibe fricción, se trata de arcillas, las cuales son de consistencia suave y quebradiza.

2.2.4.5. Prueba del lavado de manos

Esta prueba debe frotarse una muestra de tierra húmeda entre las manos a fin de sentir claramente las partículas; el suelo es arenoso o gravoso si al enjuagarse las manos se escurre sin problema, pero si presenta dificultad de lavarse las manos o si se sienten jabonosas y queda una película delgada del tono de la tierra impregnada en las manos, significa que contiene bastante arcilla; y si la tierra en su estado seco se presenta polvosa o talcosa pero en presencia de agua es poco pegajosa y fácil de enjuagar, y cuando ésta se seca en las manos pueden limpiarse al frotarlas es un barro limoso[49, p. 24].

2.2.5. Métodos de laboratorio

A continuación se fundamentan los diversos Métodos de laboratorio usados para la caracterización del material tierra, avalados por normas internacionales como la ASTM y AASHTO, normas nacionales como la MTC y diversos manuales especializados en

mecánica de suelos, esto a su vez conlleva en una posterior clasificación de suelos, necesaria para el reconocimiento definitivo del material tierra.

2.2.5.1. Determinación del contenido de humedad de un suelo

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas [52, p. 50].

El método convencional de determinación de humedad de suelo en laboratorio es por medio del secado a horno, según normas ASTM D2216 [53] y métodos operativos descritos en manuales de laboratorio de mecánica de suelos UNI [54] así como los cálculos y formulas empleadas; para hallar el contenido de humedad se debe realizar el siguiente cálculo:

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3)$$

Donde

W% = es el contenido de humedad, (%)

W_w = es el peso del agua, en gramos

W_s = es el peso de las partículas sólidas, en gramos.

Los resultados se presentan en tablas y el valor del contenido de humedad en porcentaje.

2.2.5.2. Determinación de los límites de consistencia de los suelos

Estos ensayos se hacen cuando hay existencia de arcillas en el suelo en estudio, ya que cuando existen minerales de arcilla en un suelo de grano fino, este puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse. Esta naturaleza cohesiva es debida al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla [13, p. 27].

La determinación de los límites de consistencia conocido también como Método de Atterberg, se usa para describir la consistencia de los suelos de grano fino con contenidos de agua variables; a muy bajo contenido de agua, el suelo se comporta como un suelo solido frágil, cuando el contenido de agua es muy alto, el suelo y el agua fluyen como un líquido. Por tanto dependiendo del contenido de agua, la naturaleza del comportamiento del suelo se clasifica en cuatro estados básicos: solido, semisólido, plástico, líquido; y el paso de un estado a otro está delimitado por los límites de consistencia; es decir, el contenido de agua en el punto de transición del estado sólido a semisólido, se define como

el límite de contracción, el paso del estado semisólido a plástico está delimitado por el límite plástico y el paso del estado plástico al líquido está delimitado por el límite líquido, los anteriores estados son fase por las que pasa el suelo al irse secando y el establecimiento de sus fronteras ha de hacerse en forma convencional, justamente fue Atterberg quien estableció las primeras convenciones para ello, bajo el nombre general de Límites de Consistencia [55, pp. 127-129].

Estos métodos son utilizados como parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos, y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción se usa la norma de especificación estándar para materiales de suelo-agregados de la ASTM [56]; el límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos son extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte [52, p. 67].

2.2.5.2.1. Determinación del límite líquido de los suelos (LL)

El límite líquido es el contenido de humedad, expresado en porcentaje del suelo seco en el horno, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico [57], el ensayo de determinación del límite líquido usa el dispositivo de Casagrande [58], donde arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulgada) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo [59]. El valor deberá aproximarse al centésimo.

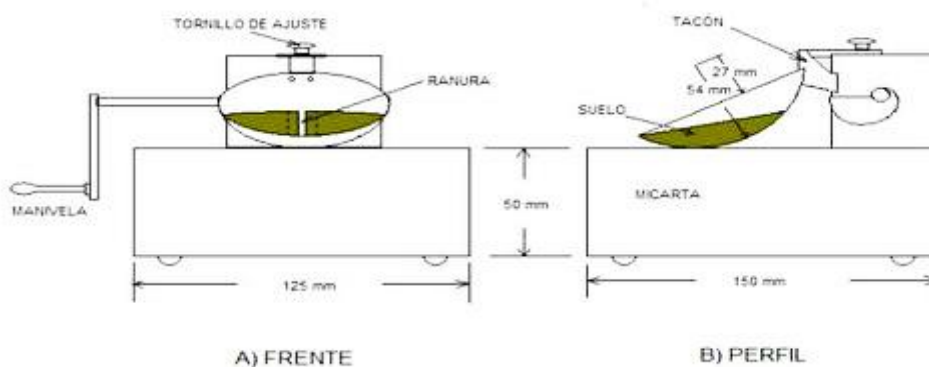


Figura 3. Aparato de Casagrande para determinación del Límite Líquido [13].

2.2.5.2.2. Determinación del límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)

El límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, con el cual el suelo al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro se desmorona o comienza agrietarse al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente[60], [61]. El límite plástico es el límite inferior de la etapa plástica del suelo, el índice de plasticidad (IP) es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo [13, p. 28] .

$$IP= LL-LP \quad (4)$$

Esta prueba puede ser subjetiva ya que depende del operador que lo realiza[62, p. 20], el ensayo determina el límite de humedad mínimo para la cual la muestra de suelo pasa del estado semisólido al estado plástico.

2.2.5.3. Análisis granulométrico de suelos por tamizado

Este ensayo, determina el rango del tamaño de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje del peso (o masa) seco total. Se usan generalmente dos métodos para encontrar la distribución del tamaño de partículas del suelo: 1) Análisis con cribado, para tamaño de partículas mayores a 0.075mm de diámetro y 2) Análisis hidrométrico para tamaños de partículas menores a 0.075 mm de diámetro [13, p. 7].

El análisis granulométrico de suelos por tamizado; tiene por objeto determinar los porcentajes de agregado grueso y agregado fino de una muestra de suelo[63], así como la determinación cuantitativa del tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo en función al porcentaje de su peso total[64], todo esto a partir de la utilización de tamices normalizados.

La curva granulométrica, es la representación gráfica de los resultados obtenidos en laboratorio; en cuanto a la distribución de partículas del suelo, ésta se representa en la tabla de distribución granulométrica, la cual se traduce en una hoja semilogarítmica donde irá el Porcentaje acumulado que pasa (%) versus el Diámetro de las partículas (mm). A partir de los datos que aporta el ensayo de granulometría pueden definirse parámetros secundarios, que informan sobre las características de la curva, en cuanto a su gradación o uniformidad como lo son el Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc) establecidos por Hazen [65] los que se definen como:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad y \quad C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (5)$$

Donde:

D60: Tamaño correspondiente al porcentaje acumulado que pasa el 60% (expresado en mm.)

D10: Tamaño correspondiente al porcentaje acumulado que pasa el 10% (expresado en mm.)

D30: Tamaño correspondiente al porcentaje acumulado que pasa el 30% (expresado en mm.)

Si $C_U > 6$ y $1 < C_C < 3$ se consideran suelos bien graduados (W).

Si $C_U < 6$ y/o $C_C < 1$ o $C_C > 3$ se dice que el suelo es mal graduado (P).

Un suelo con un Coeficiente de Uniformidad de aproximadamente 4 para gravas y 6 para arenas y Coeficiente de curvatura de 1 y 3 (para gravas y arenas), permite diferenciar entre suelos bien graduados y mal graduados [65, p. 545], estas consideraciones conducen a una definición precisa del suelo, y se utilizan en el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (SUCS).

2.2.5.4. Análisis granulométrico por el método del hidrómetro

Los tamaños menores de suelo exigen una investigación fundada en otros principios, el método del hidrómetro (densímetro) es quizá, el de uso más extendido y el único que se verá con cierto grado de detalle [55, p. 103].

El análisis hidrométrico se basa en el principio de la sedimentación de granos de suelo en agua. Cuando un espécimen de suelo se dispersa en agua, las partículas se asientan a diferentes velocidades, dependiendo de sus formas tamaños y peso. Por simplicidad, se supone que todas las partículas de suelo son esferas y que la velocidad de las partículas se expresa por la ley de Stokes [13, p. 9]. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo [66], este ensayo tiene por finalidad, determinar el porcentaje de partículas más finas de un determinado suelo, debiendo realizarse a la fracción de suelo que pase el tamiz de 74 μm (N° 200) [67]. Este análisis utiliza la relación de caída de esferas en un fluido, también requiere datos como el diámetro de la esfera, el peso específico de la esfera y del fluido, y la viscosidad del fluido, tales valores se hallan en laboratorio y se expresa en la siguiente ecuación conocida como la ley de Stokes.

$$V = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} * D^2 \quad (6)$$

Donde:

V = Velocidad.

ρ_s = Densidad de partículas sólidas.

ρ_w = Densidad del agua.

n = Viscosidad del agua.

D = Diámetro de las partículas de suelo.

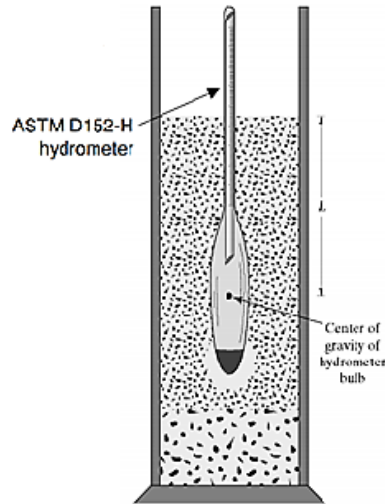


Figura 4. Determinación de la gravedad específica de partículas sólidas. Ensayo del hidrómetro[68],[69].

2.2.5.5. Clasificación del suelo por el sistema SUCS y sistema AASHTO

Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para expresar en forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas sin una descripción detallada y son usados básicamente para ver el comportamiento ingenieril[55, p. 38]. Actualmente existen dos sistemas de clasificación que usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos [70]; estos son el sistema unificado de clasificación de suelos SUCS [17] y el sistema AASHTO [71].

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS): La forma original de este sistema fue propuesto por Arthur Casagrande en 1942, para usarse en la construcción de aeropuertos emprendido por el cuerpo de ingenieros del ejército durante la segunda guerra mundial, en cooperación con la oficina de restauración de estados Unidos, el sistema fue revisado en 1952 y hoy en día es ampliamente usado[55, p. 152], este sistema de clasificación es de uso más común y está basado en los límites de consistencia y en la granulometría; se presenta en diversas tablas de simbologías, diagramas de flujo y de clasificación, propuestas por la ASTM además hace uso de valores anteriormente obtenidos así también de la Carta de plasticidad de Casagrande vistas a continuación.

Tabla 2. Clasificación de Suelos sistema SUCS. ASTM D-2487[17]

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS) ASTM D2487						
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS mas del 50 % es retenido en la malla No. 200	GRAVAS Mas del 50% de la fracción gruesa es retenida en la malla No. 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla No. 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$ $Cu < 4$ y/o $1 > Cc > 3$	GW GP	Grava bien graduada Grava mal graduada	
		GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla No. 200	$IP < 4$ o debajo de la línea "A"	GM	Grava limosa	
			$IP > 7$ y arriba de la línea "A"	GC	Grava arcillosa	
		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5% y 12% pasa la malla No. 200	Cumple criterios para GW y GM	GW-GM	Grava bien graduada con limo	
			Cumple criterios para GW y GC	GW-GC	Grava bien graduada con arcilla	
			Cumple criterios para GP y GM	GP-GM	Grava mal graduada con limo	
			Cumple criterios para GP y GC	GP-GC	Grava mal graduada con arcilla	
		ARENAS el 50% o mas de la fracción gruesa pasa la malla No. 4	Arenas Limpias Menos del 5% pasa la malla N° 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien graduada
	$Cu < 6$ y/o $1 > Cc > 3$			SP	Arena mal graduada	
	Arenas con Finos Mas del 12% pasa la malla N° 200		$IP < 4$ o debajo de la línea "A"	SM	Arena limosa	
			$IP > 7$ y arriba de la línea "A"	SC	Arena arcillosa	
	Arenas Limpias y con Finos Entre el 5 y 12% pasa malla N° 200		Cumple criterios para SW y SM	SW-SM	Arena bien graduada con limo	
			Cumple criterios para SW y SC	SW-SC	Arena bien graduada con arcilla	
			Cumple criterios para SP y SM	SP-SM	Arena mal graduada con limo	
Cumple criterios para SP y SC			SP-SC	Arena mal graduada con arcilla		
SUELOS DE PARTICULAS FINAS El 50% o mas pasa la malla No. 200	Limos y Arcillas Limite Liquido menor que 50	Inórganicos	$IP > 7$ y arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad	
			$IP < 4$ o debajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad	
		Orgánicos	Ubicar IP en la carta de plasticidad y verificar: L.L. (secado al horno) / L.L. (sin secado al horno) $< 0,75$	OL	Arcilla orgánica Limo orgánico	
	Limos y Arcillas Limite Liquido mayor que 50	Inórganicos	$IP > 7$ y arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad	
			$IP < 4$ o debajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad	
		Orgánicos	Ubicar IP en la carta de plasticidad y verificar: L.L. (secado al horno) / L.L. (sin secado al horno) $< 0,75$	OH	Arcilla orgánica Limo orgánico	
		SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		Patrón principal de identificación: color oscuro a negro, olor orgánico, textura fibrosa a amorfa. No aplican ensayos.	PT	Turba

CARTA DE PLASTICIDAD	pc _a : En la Carta de Plasticidad	Símbolo Dual: Finos se ubican en la zona de signo doble (CL-ML) en la carta de plasticidad de casa grande.	CL-ML	ARCILLA LIMOSA
			GC-GM	GRAVA LIMOSA ARCILLOSA
			SC-SM	ARENA LIMOSA ARCILLOSA

Carta de plasticidad; Su principal uso está en situar en ella un suelo desconocido, por medio del cálculo de los dos parámetros que definen su plasticidad; la colocación del suelo en uno de los grupos definidos indicará que participa del conjunto de propiedades mecánica e hidráulicas características de este grupo [72]. La línea A generalmente separa los materiales más arcillosos de los materiales limosos y los orgánicos de los inorgánicos. La línea U indica el límite superior para suelos generales. Pero si los límites medidos de los suelos están a la izquierda de la línea U, entonces se debe volver a examinar la muestra. De esta manera, se tiene un modo simple y rápido de adquirir valiosa información básica del suelo en estudio.

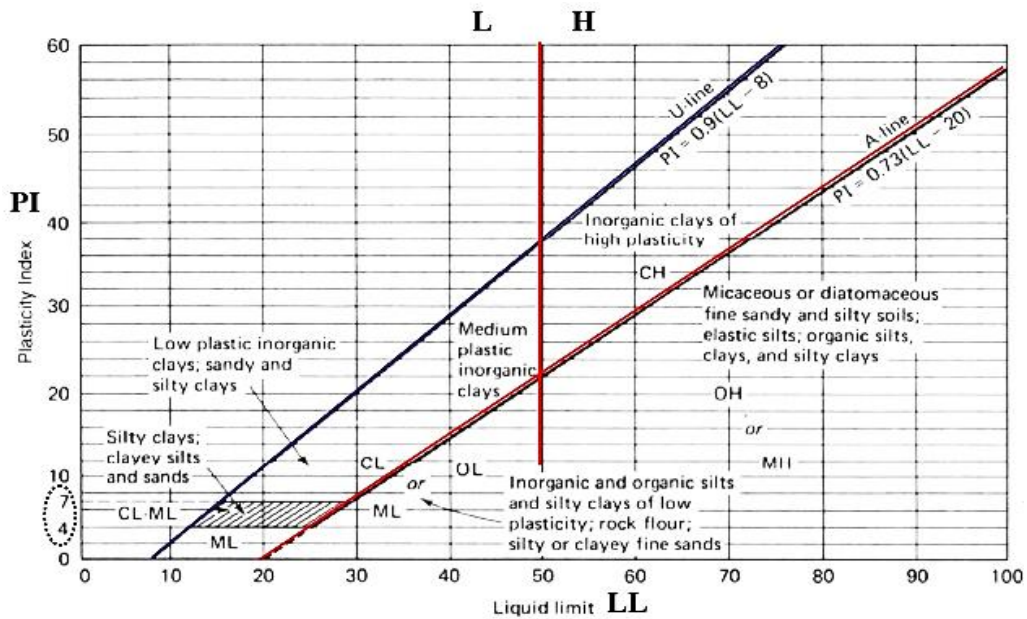


Figura 5. Carta de plasticidad de Casagrande, mostrando varios tipos de suelos representativos (desarrollado por Casagrande 1948 y Howard, 1977) [73].

Sistema de clasificación AASHTO, este es el sistema del departamento de caminos de U.S.A introducido en 1929 y adoptado por la “American Association of State Highway Officials”, es de uso especial para la construcción de vías, en especial para manejo de subrasante y terraplenes y el más usado para la clasificación de suelos en carreteras, el procedimiento se muestra en la prueba D-3282 de la ASTM [74] y método AASHTO M145 [71].

Tabla 3. Tabla de Clasificación de suelos, dado por la AASHTO M-145 [71].

General Classification	Granular Materials 35% or less passing the 0.075 mm sieve							Silt-Clay Materials >35% passing the 0.075 mm sieve			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Group Classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Sieve Analysis, % passing											
2.00 mm (No. 10)	50 max	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
0.425 (No. 40)	30 max	50 max	51 max	---	---	---	---	---	---	---	---
0.075 (No. 200)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Characteristics of fraction passing 0.425 mm (No. 40)											
Liquid limit	---	---	---	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Plasticity index	6 max	N.P.	N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min ^a
Usual types of significant constituent materials	stone fragments, gravel and sand		fine sand	silty or clayey gravel and sand				silty soils		clayey soils	
General rating as a subgrade	excellent to good							fair to poor			

^aPlasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than the LL - 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL - 30

2.2.5.6. Composición del suelo por análisis de difracción por rayos X

La técnica de difracción de rayos X es utilizada para conocer la composición mineral del suelo, consiste en usar una muestra pulverizada o policristalina la cual contiene muchas partículas diminutas y orientadas al azar que se exponen a una radiación de rayos X monocromática y como cada partícula de polvo es un cristal, teniendo gran cantidad de ellos que están libremente orientados se asegura que algunas partículas puedan estar orientadas adecuadamente para que sus planos cristalográficos cumplan las condiciones para la difracción [75, p. 59].

Para aplicar esta técnica se utiliza radiación X, definida por su banda de frecuencias, que está comprendida entre la radiación ultravioleta y la de los rayos gamma, este tipo de radiación se produce cuando una partícula de masa pequeña pero altamente energética (con una elevada energía cinética) incide en un elemento material. La colisión produce una perturbación en la materia y parte de la energía se dedica a producir radiación X [76, p. Anexo N.1]; para generar dicha radiación se suele utilizar electrones como partículas para producir el impacto en la materia por ser eficaces, sencillos de controlar y de generar. [77] .

Las tres muestras de suelo inicialmente fueron analizadas por métodos físicos de separación por tamaño de grano; sin embargo la conducta plástica y cohesiva del suelo depende principalmente del tipo y porcentaje de arcilla, de su historia geológica y del contenido de humedad de éste, más que de la distribución misma de los tamaños de partícula [78], debido a ello la importancia de realizar este análisis a fin de determinar los tipos de arcillas y minerales presentes en la muestra.

2.2.5.7. Ensayo de compactación de suelos: prueba de Proctor Modificado

La “Prueba de Proctor Modificado” es la adaptación de la prueba de Proctor estándar la cual fue modificada para representar mejor las condiciones de campo, Para llevarse a cabo la prueba Proctor modificada, se usa un molde similar al de Proctor estándar, con un volumen de 943.3 cm^3 , sin embargo el suelo es compactado en cinco capas por un pisón que pesa 44.5 N, la caída del martillo es de 457.2 mm, el número de golpes del martillo por capa es de 25 golpes como en el caso de la prueba Proctor estándar, la energía de compactación por volumen unitario de suelo en la Prueba Modificada se calcula como: [13, p. 59].

$$Ec = \frac{\left(\frac{25 \text{ golpes}}{\text{capa}}\right)(5 \text{ capas})(44.5 * 10^{-3} \text{ KN})(0.4572 \text{ m})}{943.3 * 10^{-6} \text{ m}^3} = 2696 \text{ KN} - \text{m}/\text{m}^3 \quad (8)$$

Debido a que incrementa el esfuerzo de compactación, la prueba Proctor modificada resulta en un incremento del peso específico seco máximo del suelo. El incremento del peso específico seco máximo es acompañado por un decremento del contenido de agua óptimo [79]

La prueba de Proctor está limitada a los suelos que pasen totalmente la malla N° 4 ó que cuando mucho tengan un retenido de 10% en esta malla, pero que pase dicho retenido totalmente por la malla 3/8" [16]. Lo anterior descrito hace referencia al material de agregado fino, entendiéndose por éste a la existencia de arenas finas, limos, arcillas y con relativa presencia de grava fina debido a que ésta es retenida en la malla N°4, siendo así que la prueba, queda relegada a suelos en cuyo contenido sea predominante el agregado fino.

Los Cálculos usados en la Prueba Proctor son: El Peso Unitario Seco y Contenido de Agua para un mínimo de 3 especímenes compactados. Las formulas son las siguientes:
El contenido de humedad por el ensayo de determinación de humedad en el horno:

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (9)$$

Donde

W% = es el contenido de humedad, (%)

Ww = es el peso del agua, en gramos

Ws = es el peso de las partículas sólidas, en gramos.

El peso unitario seco o densidad seca, se halla con la siguiente formula:

$$\rho_s = \frac{\rho_h}{w\%} \quad (10)$$

Donde:

ρ_s : Densidad seca

ρ_h : Densidad Humeda.

w%: Contenido de humedad

De acuerdo a esto se plotean los valores obtenidos y se dibuja la curva de compactación, como una curva suave a través de los puntos obtenidos. En base a la curva de compactación se determina el óptimo contenido de agua y el peso unitario seco máximo. Existen dos tipologías para el ensayo Proctor de Compactación, La prueba de Proctor Estándar y la prueba de Proctor Modificado y cada una de estas con diversos métodos que van desde el método A hasta el método D [80]. Para la muestra 2-Huachipa se utilizó el Proctor Modificado **método “A”**, debido a las especificaciones que presenta la prueba.

2.2.6. Métodos fisicoquímicos

2.2.6.1. Determinación del contenido de cloruros en suelos.

Este ensayo tiene por fin la determinación cuantitativa del ión cloruro soluble en agua contenido en suelos y agua subterránea [81].

2.2.6.2. Determinación del contenido de sulfatos en suelos.

La determinación del contenido de ión sulfato soluble en suelos y aguas subterráneas considera dos métodos: El método gravimétrico (Método A) y el método turbidimétrico (Método B). La selección del método dependerá de la concentración del ión sulfato en la muestra y de la exactitud deseada[82]. Los resultados se reportan en mg/kg o ppm.

2.2.6.3. Determinación del contenido de sales solubles en suelos.

El método de ensayo establece la preparación de un extracto acuoso para la determinación del contenido de sales solubles en los suelos, sin embargo este método es ampliamente conocido como determinación de sólidos disueltos en aguas (TDS), por lo que también es aplicable, en segundo caso a muestras de agua subterránea[83] . Los datos que se obtengan se reportan en ppm y pueden ser de utilidad principalmente en la construcción civil.

2.3. FABRICACIÓN DEL ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL Y LADRILLO COMÚN.

Los adobes compactados o también llamado bloque de tierra compactado (BTC) resultan de la mezcla de tierra y agua, con adición de algún agente estabilizante, en este caso cemento el cual es aportado en proporciones variables partiendo desde el 0% y aumentando cada 5%, hasta llegar al 20%, a diferencia del adobe convencional, la mezcla usada en compactación es de consistencia semiseca y moldeada al instante sin procesos de dormido previo, siendo sometida a compresión en una máquina con la finalidad de obtener altas densidades para luego pasar al proceso de secado, se dispondrán de unidades con y sin cemento, éste aditivo sumado a la presión de compactación le dará el endurecimiento adecuado que le otorgará su máxima densidad seca.

La compresión de los BTC, se realiza con una prensa hidráulica del tipo gata invertido debido a la presión aplicada que es vertical hacia abajo, contrario a las prensas manuales del tipo gata de botella, La prensa usada tiene un manómetro adosado cuya corrida es desde 0 hasta 30 Toneladas, sin embargo la Fuerza de Compactación aplicada en la fabricación de estas unidades, varía desde el 0 y aumentando cada 2T hasta llegar a 16T. Las dimensiones y forma del bloque dependerán de las medidas de la caja o matriz de compactación la cual permite confeccionar bloques de 13* 25* 7cm.

Los adobes convencionales son hechos de la mezcla de tierra y agua, sin adición de algún agente estabilizante químico (cemento, asfalto, etc.) o físico (adición de fibras animales o vegetales como el ichu) el tipo de mezcla es de consistencia barrosa cuyo contenido de humedad es mayor a las otras piezas que se van a fabricar, este parámetro es esencial para que durante el tiempo de dormido tome la plasticidad adecuada para el moldeo de las unidades.

El ladrillo artesanal, va ser este mismo adobe, que después del tiempo de secado tiene una fase adicional de cocción en un horno de quemado, donde toma la coloración característica a dichas unidades y adquiere mayor resistencia mecánica.

A continuación se muestra el diagrama de flujo para la fabricación de los diferentes tipos de unidades:

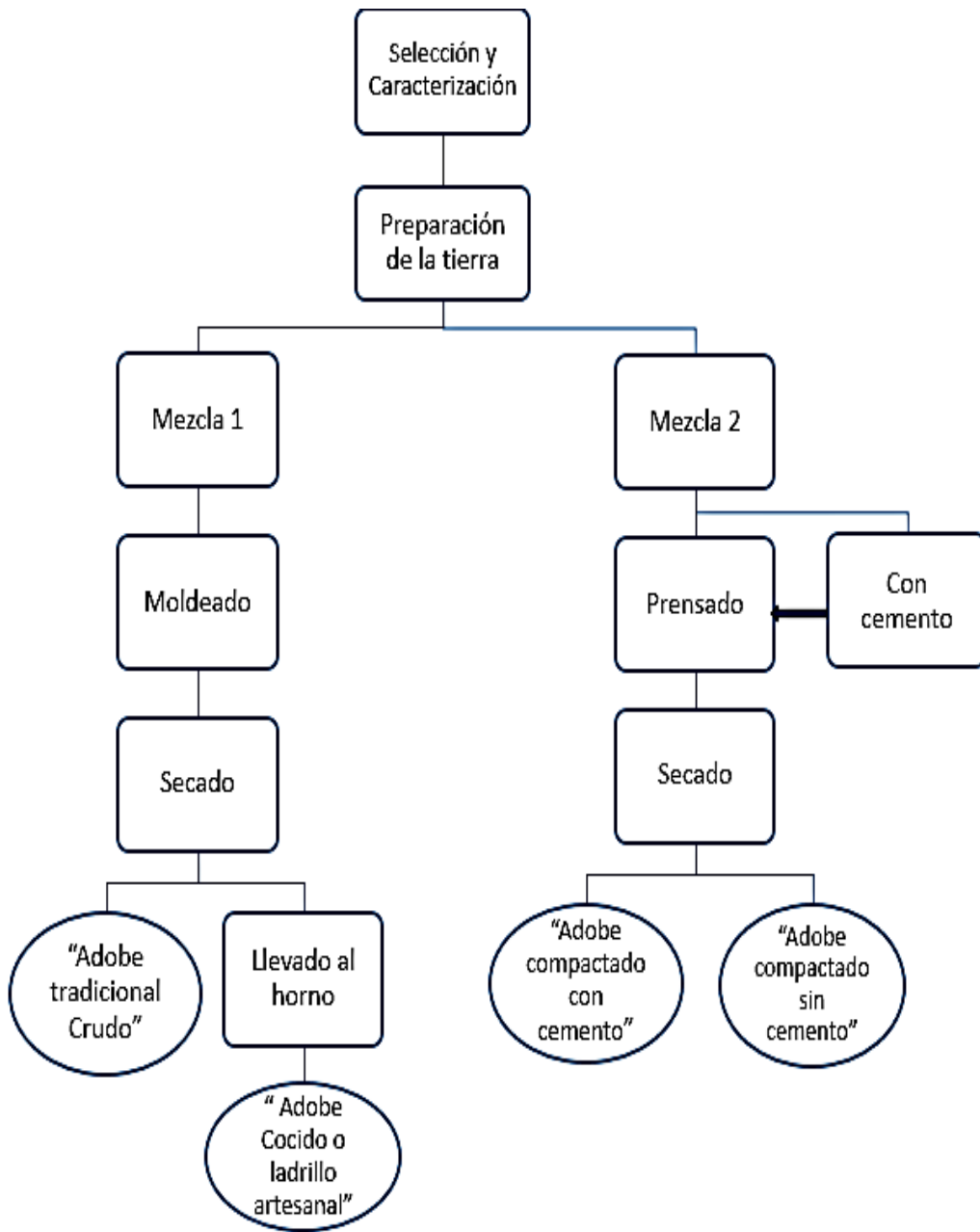


Figura 6. Diagrama de flujo para la fabricación de unidades de albañilería: Adobe convencional, Ladrillo artesanal y Adobe compactado.

2.3.1 Componentes de la mezcla 1 y mezcla 2

Suelo: El suelo debe tener presencia de arena, limo y arcilla,

- Mezcla 1: Torta de barro para adobe convencional (tierra y agua)
- Mezcla 2: Suelo-cemento para adobes compactados.

El suelo adecuado para la *mezcla 1*, debe contener de 10-20% arcillas; 15-25% limos y 55-70% arenas, con la salvedad de que estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados[12].

El suelo adecuado para la *mezcla 2*, estabilizado con cemento debe contener arena, limo y arcilla. La composición óptima de trabajo de la tierra para suelo-cemento, recomendado por investigaciones relacionadas es 75 % del total constituido por arena y 25 % de limo y arcilla, medido en peso, teniendo prioridad los suelos arenosos, debido que producen mejores resultados de compactación y resistencia al ser estabilizados con cemento [84, p. 37].

Cemento: Es el medio estabilizante, mejora las condiciones del suelo respecto a la acción de agentes como la humedad, dándole características de estabilidad y resistencia. Diversos autores sugieren según el sistema de compactación adoptado que a menor compactación, mayor presencia de cemento y A mayor compactación, menor presencia de cemento [84, p. 38].

Agua: El agua debe ser limpia de preferencia potable, libre de materia orgánica, sales, aceites, ácidos, álcalis y sólidos en suspensión [22, p. 7], tiene como función lubricar las partículas de la mezcla.

En la mezcla 1: *tierra-Agua*, el agua activa las arcillas presentes en el suelo generando intercambio catiónico entre estas y el agua otorgándole plasticidad y manejabilidad para el moldeo.

En la mezcla 2: *tierra-cemento*, el agua hidrata prioritariamente el cemento, generando reacciones internas, contribuyendo a la máxima compactación del suelo.

Control del agua adicionada: La cantidad de agua adicionada a la mezcla puede resultar en exceso húmeda o muy seca, esto se reflejará en la trabajabilidad del material, lo cual repercute en la resistencia y durabilidad de la unidad. La *mezcla 1*, lleva un contenido de humedad que aproxima al 20% en peso, de consistencia plástica para fabricación del adobe convencional y ladrillo común. Sin embargo la *mezcla 2* tendrá un contenido de

agua mínimo suficiente, determinado por la “prueba Proctor” que busca un contenido de humedad óptimo, en este caso el 12.7% en peso, de no existir la suficiente humedad entre partículas, estas difícilmente podrán ocupar los vacíos intersticiales de la mezcla en el momento de la compactación.

2.3.2 Fabricación de adobes compactados

Se define con el nombre genérico de bloques de suelo compactado a las unidades de albañilería elaborados con mezclas de arena, limo, arcilla, y eventualmente la adición de algún estabilizante en este caso el cemento. Son compactados porque en su fabricación se utiliza una máquina prensadora que comprime a la mezcla húmeda con los elementos indicados.

Se recomienda que los límites de plasticidad para unidades que se fabriquen en bloques de suelo compactado, cumplan lo establecido en las normas UNE 103103:1994 [85], UNE 103104:1993 [86]. En la unión Europea, ya existe una normativa aplicada a los bloques de tierra compactada o BTC; que considera en su elaboración, el uso de materiales para fabricación, ensayos y cartas de valores aproximados donde se deben ubicar ciertos parámetros como los límites de consistencia, líquido y plástico, así como en la clasificación del suelo, la cual debe tener una granulometría, que se ubica en dichas cartas [44] . La norma UNE otorga la definición que se le da a estas unidades, la cual dista de otras como los sillico-calcáreos.

2.3.3. Fabricación de adobes, sin compactar crudo o “adobe convencional”.

La fabricación del adobe convencional difiere de los adobes compactados ya que en sus procesos no usa la prensa compactadora y son elaborados de manera convencional, cuya mezcla corresponde a la *mezcla 1*, que es una torta de barro, la cual tiene contenido de agua mayor, se realiza el proceso del dormido y para el moldeo se usan gaveras de madera sin fondo.

Esta etapa consiste en la fabricación de unidades de bloques de tierra sin compactar y sin la adición de cemento o de ningún otro elemento estabilizante, sea algún tipo de fibras; y tampoco aplicándole Presiones de Compactación en la elaboración de estos.

2.3.4. Fabricación de adobes, sin compactar cocidos o “Ladrillo común”.

En la fabricación de unidades de bloques sin compactar cocidos también llamado “ladrillo artesanal”, no hubo adición de cemento y de ningún otro elemento estabilizante; tampoco se aplicó Presiones de Compactación en la elaboración de éstos. El proceso de fabricación usa la *mezcla 1* y es similar a la fabricación del adobe convencional pero con la característica de que estos adobes en su etapa final de secado pasan por un proceso de cocción.

Se hicieron un total de 22 unidades de “adobe cocidos”, también llamados “ladrillos artesanales” los cuales serán destinados a los ensayos de compresión, flexión y compresión en prismas, estas unidades corresponden a una sola serie de adobes. ($P_c=0$ y $W_c\%= 0\%$)

Tabla 4. Cantidad de unidades de “adobe convencional cocido” o “ladrillo artesanal”

Presión de Compactación (P_c)	Porcentaje de Cemento en peso ($W_c \%$)
	0%
0T	22 unidades

Trabajándose en las condiciones ya descritas se tienen como variables a las siguientes:

Variables Independientes:

- Tipo de suelo
- Presión de compactación o presión de moldeo (P_c) (Se fija la Variable $P_c = 0$ T)
- Porcentaje de cemento ($W_c \%$) (Se fija la Variable $W_c = 0\%$)
- Contenido de Agua ($h\%$) (humedad aportada aproxima al 25% en peso)
- Proceso de Cocción (altas temperaturas: 1000-1300 °C)

Variables Dependientes:

- Propiedades físicas
- Propiedades mecánicas
- Propiedades térmicas

Estos bloques de *adobe “cocidos”*, son básicamente el ladrillo común, tipo artesanal y de cara sólida, usado predominantemente en la costa del Perú, debido a las construcciones a lo largo del litoral en cuya idiosincrasia usa ladrillos artesanales, por ser de bajo costo, y con propiedades mecánicas similares al del ladrillo común tipo I. Pero las cualidades de este en cuanto a Resistencia a Compresión son cercanos al ladrillo tipo NP# según la Norma 0.70 [87].

2.4. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE LAS UNIDADES DE ALBAÑILERÍA.

2.4.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.

La Determinación de las propiedades mecánicas de las unidades que se fabrican, requiere la realización de los siguientes ensayos de resistencia mecánica:

- Resistencia a la compresión en unidades de albañilería
- Determinación de la resistencia a la compresión en prismas de albañilería.
- Determinación del Módulo de rotura(ensayo de flexión)

Los cuales permitirán la obtención de esfuerzos admisibles de diseño, se deben considerar los siguientes esfuerzos mínimos admisibles que exige la norma del adobe NTP E.080:

- Resistencia a la compresión de la unidad de albañilería:

$$f_0 = 12 \text{ kg/cm}^2 \text{ [12]}$$

$$f_0 = 10 \text{ kg/cm}^2 \text{ [22]}$$

- Resistencia a la compresión de la albañilería:

$$f_m = 0,2f_m \text{ ó } 2 \text{ kg/cm}^2 \text{ [12]}$$

$$f_m = 0,4f_m \text{ ó } 2,5 \text{ kg/cm}^2 \text{ [22]}$$

- Resistencia a la compresión por Aplastamiento:

$$1.25f_m \text{ [12],[22]}$$

- Resistencia al corte de la albañilería:

$$V_m = 0.25 \text{ kg/cm}^2 \text{ [12], [22]}$$

Adicional a la obtención de esfuerzos admisibles exigidos por la NTE 080, se debe realizar un ensayo adicional para que se compare este parámetro con otras unidades, según la norma de albañilería NTE 0.70:

- Determinación del Módulo de rotura (Ensayo de flexión) NTE 0.70

Este último ensayo debe realizarse con la finalidad de determinar la resistencia de la unidad ante fuerzas horizontales como las que se generan durante los sismos.

2.4.1.1. Ensayo de Resistencia a la compresión de la unidad de albañilería.

Este ensayo se realiza con el fin de determinar la máxima carga que pueda soportar una unidad de albañilería sobre una sección determinada [14] en este caso el adobe. Se deberán ensayar 5 especímenes como mínimo, los cuales no deberán presentar astillas ni rajaduras.

La resistencia a la compresión de la unidad se Calculará a partir de la siguiente relación:

$$f'b = \frac{W}{A} \quad (11)$$

Donde:

- f'_b : resistencia a la compresión del espécimen en kgf/cm².
- W: Carga de fisuramiento en kgf.
- A: Área bruta de la sección en cm²

Este ensayo reporta el valor f'_b , el cual es la resistencia a la compresión del valor promedio de los especímenes ensayados.

El ensayo de compresión, se realizará a todas las unidades de albañilería, teniéndose un total de los siguientes ensayos:

- Ensayo de Resistencia a compresión en unidades de adobe compactado.
- Ensayo de Resistencia a compresión en unidades de adobe convencional crudo.
- Ensayo de Resistencia a compresión en unidades de adobe convencional cocido.

2.4.1.2. Ensayo de Determinación del módulo de rotura (Ensayo de Flexión)

El ensayo de flexión de unidades mide la resistencia de una unidad de albañilería ante la acción de una carga flexionante, sobre la sección paralela a la superficie de asiento. También es considerada como una medida aproximada de la Resistencia a la tracción[88], se usó la técnica de tres puntos de aplicación de carga.

El módulo de rotura de cada espécimen se calculara a partir de la siguiente expresión:

$$Mr = \frac{3P(\frac{L}{2}-X)}{bd^2} \quad (12)$$

Donde:

Mr: Módulo de Rotura en MPa

P: Máxima carga aplicada en kgf.

L: Distancia entre apoyos en cm

b: Ancho neto del espécimen en el plano de falla en cm.

d : Espesor del espécimen en el plano de falla en cm.

X : distancia promedio desde el centro de la cara superior hasta el plano de falla en cm.

Este ensayo reporta el valor Mr el cual es el promedio de cada valor individual de los especímenes ensayados.

Este ensayo se realizará a todas las unidades de albañilería, teniéndose los siguientes ensayos:

- Determinación del módulo de rotura en unidades de adobe compactado.
- Determinación del módulo de rotura en unidades de adobe convencional crudo.
- Determinación del módulo de rotura en unidades de adobe convencional cocido.

2.4.1.3. Ensayo de Resistencia a la compresión en prismas de albañilería

El ensayo se realiza con la finalidad de determinar la resistencia a la compresión en la albañilería, a través de los ensayos en muestras conformadas por unidades asentadas de forma prismática. Este ensayo es muy importante en el control de calidad de diversos tipos de estructuras, principalmente en el diseño de muros portantes, por cumplir un papel fundamental en su sostenimiento y funcionalidad [89]. En la construcción de una edificación se deberán construir 3 pilas de ladrillos por cada 500 m² de área techada.

La resistencia a la compresión del prisma de albañilería se determina a partir de la siguiente expresión:

$$f'_m = \left(\frac{P_R}{A_n}\right) * N \quad (13)$$

Donde:

f'_m : Resistencia a la compresión del prisma de albañilería.

P_R : Carga de ruptura.

A_n : Área neta.

N : Factor de corrección.

El factor de corrección se obtiene a partir de la edad de ensayo y la relación entre la altura (h_p) y ancho del prisma (t_p), el valor del factor de corrección se obtiene por interpolación.

Tabla 5. Factores de corrección en prismas de albañilería [89].

FACTORES DE CORRECCIÓN POR ESBELTEZ (h_p/t_p)						
Esbeltez	2	2.5	3	4	4.5	5
Factor	0.73	0.8	0.91	0.95	0.98	1
FACTORES DE CONDICIÓN POR EDAD						
Edad	14 días			21 días		
Factor	1.1			1		

Estos ensayos se deben repetir para todos los prismas de adobe compactado referidos a la serie de 6 Ton para los diversos Wc% (5, 10, 15, 20 %) y para aquellos prismas elaborados de adobe artesanal crudo y adobe artesanal cocidos.

Teniéndose los siguientes ensayos:

- Ensayo de Resistencia a la compresión en prismas de adobe compactado.
- Ensayo de Resistencia a la compresión en prismas de adobe convencional crudo
- Ensayo de Resistencia a la compresión en prismas de adobe artesanal cocido

2.4.1.4. Ensayo de Resistencia a la compresión en probetas de suelo-cemento sin compactar.

El ensayo de compresión en probetas sin compactar, tiene el mismo fin que el ensayo de compresión en las unidades de adobe, el cual es determinar la máxima carga que pueda soportar la unidad sobre una sección determinada. La Fabricación de probetas de suelo-cemento sin compactación”, se justifica debido a que estas unidades representan los puntos iniciales para cada serie en porcentaje de cemento (Wc%) y para el cero en compactación hechos a porcentajes de cemento variables, (Pc=0 T; Wc% variables) y a un mismo contenido de humedad.

Los equipos, materiales, procedimientos y cálculos que se realizan son los mismos que se utilizan en el ensayo a compresión de adobes, con la diferencia que la superficie de asiento debería ser una circunferencia de diámetro estándar según el molde usado.

2.4.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS

Se requiere conocer las propiedades térmicas de los materiales dentro del contexto actual de mejoramiento de estos, usados a nivel comercial e industrial, como para el desarrollo de nuevos productos con características mejoradas como la modificación de la conductividad para la obtención de muestras aislantes o conductoras, materiales que

intervienen en la construcción de viviendas o estructuras, con el propósito de mejorar los materiales aislantes y el estudio de materiales de elevada inercia térmica como el uso del material tierra en sus diversas presentaciones, llevando el uso de este material de manera eficiente, acorde a la conservación de la energía, sin sacrificar su resistencia mecánica o estructural.

Las propiedades termofísicas de los materiales consideran a propiedades de transporte y propiedades termodinámicas; entendiéndose como Propiedades de Transporte a la Conductividad térmica, Difusividad térmica y Viscosidad Cinemática y las Propiedades termodinámicas a la Densidad, Calor específico, Capacidad Calorífica Volumétrica[90].

Todo el estudio de la transferencia de calor corresponde a la termodinámica de evolución y no a la Termodinámica del equilibrio, pues el interés se centra aquí, ya no en cuánto calor se transmite, sino en determinar a qué velocidad fluye éste de un punto a otro.

La transferencia de calor es el flujo de energía térmica entre dos puntos que están a diferentes temperaturas.

La Difusividad térmica del material representa físicamente la rapidez con la que se difunde el calor a través del material al estar en contacto con otro.

La conductividad térmica es la propiedad física de un material que caracteriza la capacidad de la sustancia para transferir calor. El valor de la conductividad térmica determina la cantidad de calor que pasas por unidad de tiempo por unidad de área a una caída de temperatura de 1 grado C por unidad de longitud. (Coeficiente que relaciona el flujo de calor Q ($W.m^2$) por unidad de tiempo por unidad de área de una superficie isotérmica (cuya dirección va de mayor a menor temperatura)

$$Q = kAdT / Dx \quad (14)$$

Dónde:

Q es una medida del flujo de calor.

A es el área de la sección transversal.

dT / dX es el gradiente de temperatura / espesor.

k se define como la conductividad térmica.

2.4.2.1. Medición de la Conductividad Térmica.

El parámetro de Conductividad térmica se midió con el analizador de conductividad térmica TCi Thermal, el cual puede medir la Conductividad y la Efusividad térmica de manera directa; y de manera indirecta a partir de estas, los valores de Capacidad calorífica y Difusividad Térmica. Permite analizar diversos tipos de materiales; sólidos como los cerámicos y piedra; polímeros como el pírex y vidrio; Líquidos, Polvos y Espumas. El equipo trabaja en un rango de medición para la conductividad térmica de 0-120 W/mK; Rango de Temperatura de -50 a 200 °C. La precisión y exactitud es del 1% y 5% respectivamente[91].

El sistema permite un tamaño de muestra flexible; no hay límites en las dimensiones de la muestra, pero sí un tamaño mínimo de 17 mm de radio, con un espesor mínimo de 0.5mm; también se minimiza el tiempo de preparación de muestras ya que la técnica es flexible y no presenta inconvenientes para tratar diferentes tipologías de muestra. El ensayo es no destructivo debido a la naturaleza no invasiva del sensor de modo que se mantiene la integridad y reutilización de la muestra[92].

El principio de funcionamiento se basa en la técnica modificada de fuente plana transitoria (MTPS), la cual emplea un dispositivo de reflectancia de calor o Sensor interfacial unilateral, el cual cumple con la normalización ASTM D7984 [93] y que induce mediante una resistencia eléctrica una fuente de calor constante y momentánea que varía con el tiempo; una corriente eléctrica conocida es aplicada al elemento calefactor del sensor proporcionando una pequeña cantidad de calor, la muestra absorbe parte del calor y el resto provoca un aumento de la temperatura en la interfase del sensor y la muestra, típicamente menos de 2 °C. Este incremento en la temperatura de la interfase induce un cambio en la caída del voltaje del elemento sensor, el cual es utilizado para determinar las propiedades termofísicas de la muestra [94].

El grado de incremento en el voltaje del sensor determinaría un primer valor para la conductividad térmica del material; Debido que la frecuencia de toma de datos es de 60 segundos, se obtendrían resultados de las muestras entre los 5-30 min una vez puesta en marcha la metodología de ensayo para dicha muestra.

Las propiedades termo-físicas de la muestra son inversamente proporcionales al grado de incremento en el voltaje del sensor [90]. Esto quiere decir que la tasa de aumento de temperatura en la superficie del sensor es inversamente proporcional a la capacidad de la muestra para transferir calor, por lo que mientras más aislante térmicamente sea el material, mayor será el incremento del voltaje.

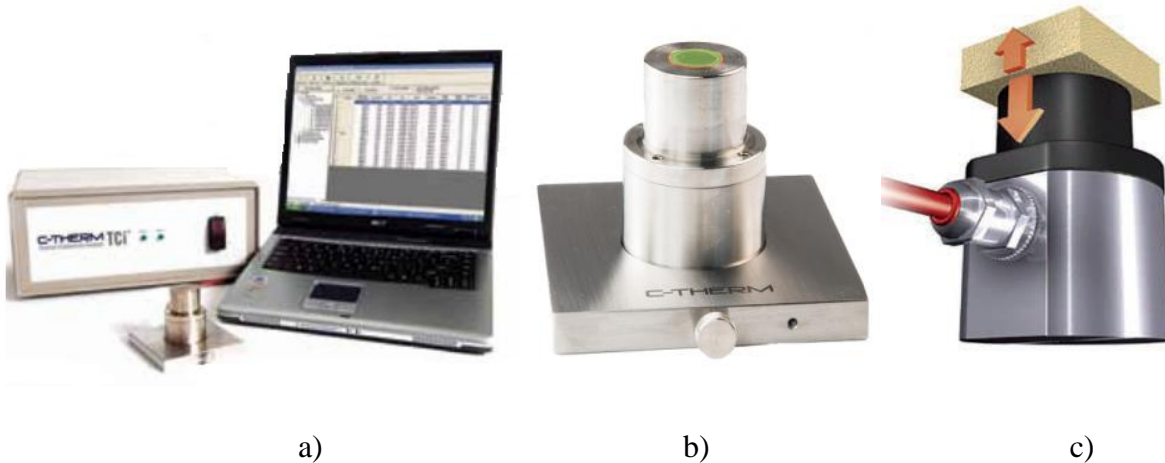


Figura 7. (a) Sistema de Medición de conductividad térmica, componentes; (b) Sensor TCi Thermal [95] se observa el elemento central de calefacción en forma espiral rodeada por el anillo protector de guarda. (c) Configuración del sensor en la muestra.

Se sugiere probar las caras frontales y sus respectivas ubicaciones laterales en cada una de las muestras para estudiar la consistencia dependiente de la posición y homogeneidad de las muestras, Se ha demostrado que las pruebas pueden diferenciar entre varias ubicaciones dentro de la misma muestra según ésta tenga algún tipo de relleno, crecimiento o mezcla compuesta[96] . El resultado así como las desviaciones estándar relativas serán calculados y registrados en promedios.

Las características principales del equipo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6. Especificaciones del Equipo TCi de C-Therm [97].

VELOCIDAD Y FLEXIBILIDAD	
Tiempo de prueba	Segundos
Tiempo de entrenamiento	Mínimo
Destructivo	No
CONFIGURACIÓN DE LA MUESTRA	
Preparación de la muestra	Mínimo
Tamaño mínimo de muestra	17mm (0.67”) de diámetro
Tamaño máximo de muestra	Ilimitado
Grosor o espesor mínimo	Nominalmente 0.02” (0.5mm), dependiendo de la conductividad térmica del material
Grosor o espesor máximo	Ilimitado
RANGO DE OPERACIÓN	
Rango de Conductividad Térmica	0 a 120 W/mK
Rango de Temperatura	-50° a 200°C (-58° a 392°F)
Precisión	1%
Exactitud	5%

2.4.2.2. Medición de la Difusividad térmica de un material sólido aislante.

La Difusividad Térmica (α con unidades $\frac{mm^2}{s}$) es una propiedad específica de cada material para caracterizar conducción de calor en condiciones no estacionarias. Éste valor describe cuán rápido un material reacciona a un cambio de temperatura. La Difusividad es una magnitud que caracteriza la rapidez con que un cuerpo alcanza el equilibrio térmico con su entorno, cuando inicialmente se encontraba a una temperatura diferente.

Conocer la Difusividad térmica de materiales complejos ayuda a poder predecir el desfase de tiempo que tardaría el calor en fluir de un punto a otro, haciéndolo beneficioso para usos domésticos en el caso del adobe o de alguna otra técnica de construcción en tierra, que pueden ser utilizados en los muros de viviendas aportando una elevada masa térmica y ofreciendo un confort térmico adecuado, ante los cambios de temperaturas día y noche en determinados lugares; con climas fríos o cálidos.

Sistema de medición de Difusividad Térmica por el método adaptado de Angström

El cálculo de la difusividad estudia el caso de calentamiento periodo senoidal, en un extremo de una barra cilíndrica finita [34]; considerando que no hay pérdidas de calor por las laterales del cilindro y que la temperatura en el extremo de la barra es apropiadamente la temperatura ambiente .

Para esta experiencia la barra, es un cilindro de adobe compactado de 35mm de diámetro y 105 mm de alto.

Para el cálculo de la difusividad se considera la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{1}{2w} \left(\frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \right)^2 \quad (15)$$

Donde X_1 X_2 son las posiciones donde los termopares están ubicados dentro del material y T_1 T_2 son los instantes de tiempo de las lecturas de temperatura pico de los termopares y w es la frecuencia de calentamiento.

La ecuación de transferencia de calor, que incluye las pérdidas por radiación con el término hT está dada por,

$$\alpha \nabla^2 T - hT = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (16)$$

Las muestras analizadas fueron de geometría cilíndrica con una relación longitud/diámetro de 2,5. Aislado la muestra lateralmente, se crean las condiciones para un flujo de calor predominante en la dirección longitudinal.

$$\alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - hT = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (17)$$

El método de Angström consiste en aplicar una fuente de calor periódica en uno de los extremos de la muestra, de modo que la temperatura a lo largo de la muestra, puede expresarse como una serie de Fourier,

$$T(x, t) = \sum C_n(x) \cos \omega t + D_n(x) \sin \omega t. \quad (18)$$

Si uno de los extremos de la muestra se calienta con una onda de calor senoidal de frecuencia ω , la ecuación de frontera para el extremo caliente de la barra es,

$$T(0, t) = M + N \cos(\omega t + \delta). \quad (19)$$

Se obtiene como solución de (17) la función,

$$T(x, t) = M + N \exp(-\sigma_1 x) \cos(\beta_1 x - \delta - \omega t), \quad (20)$$

Donde,

$$\sigma_1 = \left(\frac{1}{2\alpha}\right)^{1/2} (\sqrt{h^2 + \omega^2} + h)^{1/2}, \quad (21)$$

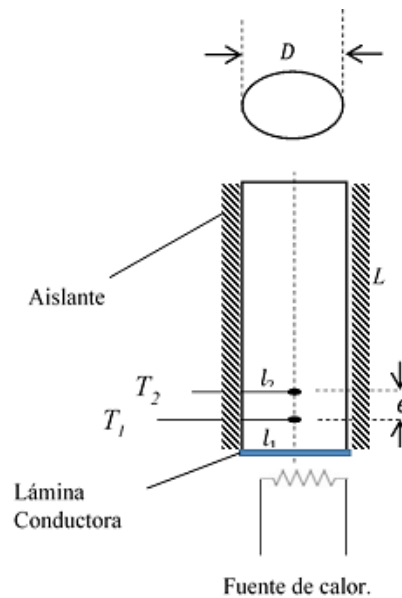
$$\beta_1 = \left(\frac{1}{2\alpha}\right)^{1/2} (\sqrt{h^2 + \omega^2} - h)^{1/2}, \quad (22)$$

y δ una constante.

Para calcular α , se prepara una probeta cilíndrica cuyo largo sea mayor que su diámetro, y se aísla para evitar flujos de calor radiales. Se calienta uno de los extremos de la probeta y se registra el cambio temporal de las temperaturas T_1 y T_2 , ubicadas en el eje de simetría de la probeta y separadas una distancia $e = l_2 - l_1$, como se muestra en la Figura 8.



a)



b)

Figura 8. (a) Probetas de tierra compactada; (b) Esquema de medición de Difusividad.

En el tratamiento de datos de las temperaturas medidas, se analiza la parte estacionaria donde se estabiliza la medición.

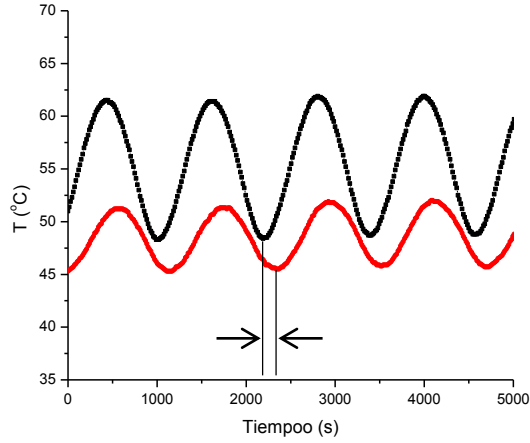


Figura 9. Gráfico de temperaturas en función al tiempo.

A partir del gráfico de Temperaturas vs. Tiempo, podemos obtener el valor experimental de la velocidad de fase,

$$v_p = e/\Delta t, \quad (23)$$

y el coeficiente de decaimiento exponencial σ_1 ,

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp[-\sigma_1(l_2 - l_1)] = \exp(-\sigma_1 e), \quad (24)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{e} \ln\left(\frac{N_1}{N_2}\right). \quad (25)$$

Para determinar la difusividad α , observamos de (21) y (22) que,

$$\sigma_1 \beta_1 = \frac{1}{2\alpha} \omega, \quad (26)$$

De donde se despeja α ,

$$\alpha = \frac{1}{2\sigma_1} \cdot \frac{\omega}{\beta_1}. \quad (27)$$

Según la ecuación (20) la velocidad de fase de la onda térmica es,

$$v_p = \omega/\beta_1, \quad (28)$$

Igualando (23) y (28) y reemplazando en (27), obtenemos,

$$\alpha = \frac{e^2}{2\Delta t} \left[\frac{1}{\ln(N_1/N_2)} \right] \quad (29)$$

CAPÍTULO 3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS DE TIERRA:

En este punto se describe el proceso inicial de caracterización de la materia prima, que para esta investigación se disponen de 3 muestras de tierra, el análisis se hace a través de pruebas de campo y de laboratorio para así determinar cuál de estas es la mejor opción para la fabricación del adobe convencional, adobe compactado y ladrillo común.

3.1.1 MÉTODOS DE CAMPO

Tabla 7. Procedimiento experimental para la realización de los métodos de campo.

METODO DE CAMPO	PROCEDIMIENTO
Prueba de Decantación de partículas	<ul style="list-style-type: none">• Se llena una botella grande de plástico hasta la mitad con muestra de tierra y el resto con agua limpia.• Se agrega una cuchara de sal y se agita vigorosamente hasta que todas las partículas estén en suspensión.• Se coloca el frasco sobre una superficie plana de fondo claro y se aguarda que todas las partículas reposen. Las partículas de arena reposaran inmediatamente, las partículas de limos y arcilla tardarán (aprox. 2 a 3 horas).
Prueba de Contracción (prueba de la caja)	<ul style="list-style-type: none">• Una caja de madera sin fondo de dimensiones 0,04 m * 0,04 m*0,50 m. Se impregna con aceite [67, p. 69].• la caja se llena con tierra húmeda en su estado plástico; la tierra debe estar humedecida a fin de que pueda empacarse bien [16, p. 2].• El molde debe tener un lecho de arena para asegurar un secado uniforme y evitar el rozamiento [68, p. 25].• Dejarlo secar por una semana bajo sombra y pasado ese tiempo se mide el encogimiento.
Prueba de la cintilla	<ul style="list-style-type: none">• Se utiliza muestra de suelo en su estado plástico, cuyo nivel de humedad le dé trabajabilidad a la muestra.• Sobre una superficie plana, se le debe ir rodando a manera de presionarla para formar un cilindro de aproximadamente 0,03 m de diámetro y 0,20 m de largo.

	<ul style="list-style-type: none"> • Se empuja el cilindro lentamente, hasta hacerlo descolgar, hasta que se rompa, • Se mide la longitud del fragmento roto. <p>La prueba se debe repetir tres veces para sacar un promedio, y realizar lo mismo para las tres muestra de tierra.</p>
Prueba de impacto de la bola húmeda (ball dropping test)	<ul style="list-style-type: none"> • Se toma una muestra de suelo húmeda. • Se amasa una bola de 0,04 m de diámetro, al apretarse entre los dedos, esta no debe dejar más que una ligera huella húmeda. • Se deja caer la bola de una altura aproximada de 1,0 m. • Se debe observar el tamaño y cantidad de los fragmentos que quedaron tras haber sido impactada.
Prueba de solidez (prueba de resistencia seca)	<ul style="list-style-type: none"> • Se toma la muestra de suelo. • Se humedece con una cantidad mínima de agua, hasta que tenga una consistencia manejable. • Se forman 4 bolitas de 0,04 m de diámetro, • Dejarlo secar por 48 horas, bajo sombra. • Presionar fuertemente con los dedos índice y pulgar, a fin de dar cuenta si se fracturan o no. <p>Esta se realizó a las 3 muestras de tierra.</p>

3.1.2. MÉTODOS TACTOVISUALES

Se desarrollaron las pruebas siguientes:

- Prueba de observación de color;
- Prueba de la brillantez
- Prueba olfativa
- Prueba dental o de la mordedura
- Prueba del lavado de manos.

3.1.3. MÉTODOS DE LABORATORIO:

3.1.3.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

- Se determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua [62, p. 11].

- El protocolo de determinación de humedad de una muestra de suelo, equipos y materiales usados, se hizo en base a las normas ASTM [53] y MTC [52, pp. 49-53], [98].

3.1.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS.

3.1.3.2.1. DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (L.L)

- Se utiliza el dispositivo de Casagrande, que consiste en una copa de bronce y una base de caucho duro, la cual se deja caer sobre la base por una leva operada por una manivela [13, p. 28].
- El ensayo consiste en tomar la muestra de suelo e ir agregándole agua en cantidades variables.
- Se elabora una pasta de barro y se transporta a la copa de Casagrande donde con un ranurador se separa en el centro de la masa.
- Se opera con la manivela, dejándose caer la copa desde una altura aprox. de 10 mm, dándose golpes continuos, a razón de 2 golpes por segundo, hasta que la masa dentro de la copa se junte a lo largo del fondo de la ranura, en una longitud aprox. de 13mm.

El protocolo de ensayo para la prueba del límite líquido está dado en la prueba D-4318 de la ASTM [99], también se revisaron procedimientos descritos en la guía de laboratorio de mecánica de suelos UNI [57, pp. 3-4], así como el manual de laboratorio de Bowles Exp N.3 [62, pp. 21-23] y de Juárez Badillo [55, p. 144, Anexo VIa, proc3].

3.1.3.2.2. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS (L.P) E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)

- Se tomó una muestra de suelo húmeda, de consistencia similar a una plastilina.
- Se procede a enrollarlo hasta adelgazar la muestra y obtener un diámetro de 1/8 pulgada o 3,2 mm aproximadamente.
- Girar la muestra sobre una superficie de vidrio esmerilada, para gradualmente quitarle humedad por evaporación, hasta que el rollo se va endureciendo.
- El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se fisura o cuartee, cuando esto logra pasar, se toman las tiras y se pone en un recipiente, para ser pesados y llevados al horno de secado.
- Pasadas las 24 horas se hallará el contenido de humedad.

- Si la muestra de suelo, no llega al diámetro de 1/8 pulgada o 3,2 mm, es porque no contiene un porcentaje adecuado de arcilla y por ende no es plástica.

El procedimiento y protocolos de laboratorio realizados se encuentran en la norma ASTM D-4318[99] también se usó el manual de laboratorio de mecánica de suelos de Bowles Exp N.3 [62, pp. 23-24] y de Juárez Badillo [55, p. 146, Anexo VIa, proc 4].

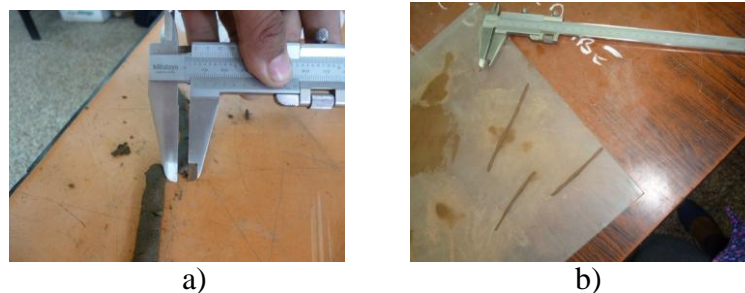


FIGURA 100. (a) Muestra fisurada antes de llegar al diámetro de 3,2 mm; (b) Muestra 2-Huachipa que si logro llegar al diámetro de 3.2mm, verificado con el vernier.

3.1.3.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

El método convencional de determinación de granos de suelo en laboratorio es por medio de la granulometría por tamizado. NORMA ASTM D-2216; esto generalmente es para la fracción gruesa, donde se llega hasta el tamiz N° 200 (0,075mm), el análisis es por vía seca. Pero en agregados finos se realiza un lavado previo de la muestra y posteriormente, se hace el cribado por la serie fina de tamices.

- La muestra de suelo se hace pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas de mayor a menor hasta llegar al tamaño de la malla N° 200 (0.075mm).
- Los retenidos en cada malla se pesan y el porcentaje que representan con respecto al peso de la muestra total se suma a los porcentajes retenidos en todas las mallas de mayor tamaño, el complemento al 100% de esa cantidad, da el porcentaje de suelo que es menor que el tamaño representado por esa malla en cuestión [55, p. 102].
- El material retenido de esta forma en cualquier tamiz consiste de partículas de diferentes tamaños, todos los cuales son menores al tamaño de la malla a través de la cual todo el material pasó, pero mayores que el tamaño de la malla del tamiz en el cual el suelo fue retenido [62, p. 37].
- Se puede tener un punto de la curva acumulativa correspondiente a cada abertura, sin embargo cuando hay partículas de suelo menores a la malla N° 200, merece un

tratamiento adicional para determinar la cantidad en porcentaje correspondientes a tamaño de grano menor, y poder completar en la curva granulométrica las zonas correspondientes al material fino, llámense limos y arcillas.

- Para definir los parámetros secundarios como el Coeficiente de Uniformidad (C_u) y el Coeficiente de Curvatura (C_c), previamente se deben obtener valores de coeficientes efectivos D_{10} , D_{30} , D_{60} , estos puntos se obtienen al intersectar en la Curva Granulométrica los valores de % acumulado pasante correspondientes al 10, 30 y 60 %, en dicha intersección se traza la perpendicular sobre el eje de las abscisas (diámetro de las partículas), estos valores son los coeficientes efectivos. Seguidamente, se reemplazan en la fórmula propuesta por Hazen.

El procedimiento de este ensayo y cálculos usados se encuentran en la norma ASTM D-422 [15] y MTC E 107-2016 [63].

PROCEDIMIENTO DE LAVADO, SECADO Y CRIBADO

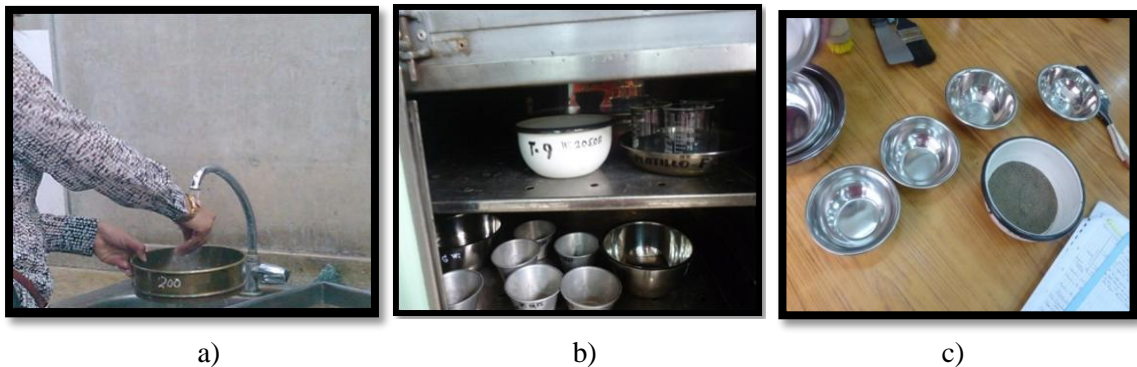


Figura 11. De izquierda a derecha 1) Lavado de la muestra en el tamiz N^o 200; 2) Secado de la muestra en el horno, 3) Muestra deseca y lista para cribar.

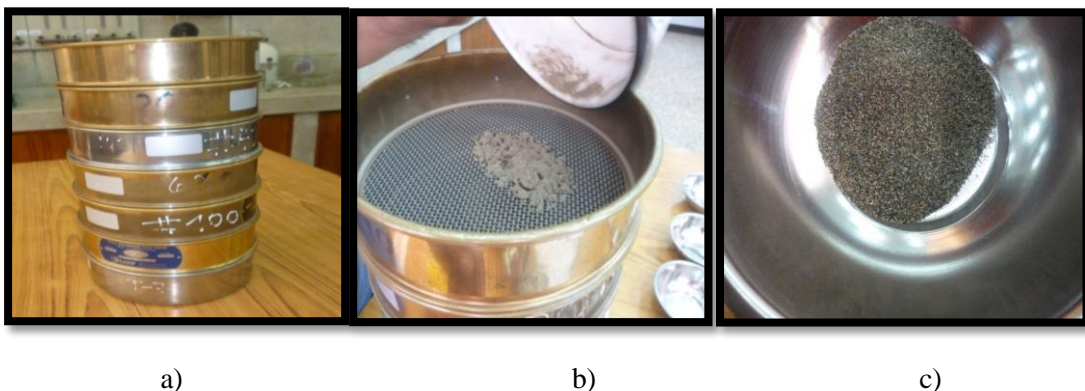


Figura 12. De izquierda a derecha a) juego de tamices para la serie fina; b) cribado en el primer tamiz; c) Retenido en tamiz N^o 10.



a)

b)

c)

Figura 13. De izquierda a derecha a) Retenido tamiz N^o 20; b) Retenido tamiz N^o 40; c) Retenido tamiz N^o 60.



a)

b)

c)

Figura 14. De izquierda a derecha a) Retenido tamiz N^o 100; b) Retenido tamiz N^o 200; c) Retenido fondo.

3.1.3.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MÉTODO DEL HIDRÓMETRO

- En el caso de arcillas se requiere entre 50 a 60 gr, los granos de suelos muy finos en suspensión tienden normalmente a flocular y adherirse, de tal forma que tienden a precipitarse juntos. Por tal motivo, se añade a la muestra un agente de disgregación para evitar la floculación durante el ensayo (Hexametáfosfato de sodio amortiguado con Carbonato de sodio (NaPO_3)) [62, p. 52].
- La solución debe ser diluida en 250 ml de agua destilada, agregarse el suelo seco (para evitar que el suelo en suspensión forme grumos), se debe disponer toda la mezcla en un vaso de dispersión y llevarse al agitador durante 1 minuto.
- Pasado este proceso se transfiere toda la mezcla en suspensión a un cilindro de sedimentación, se cubre con el tapón y se agita vigorosamente por 1 minuto adicional, y se dispone el recipiente sobre una superficie plana, se coloca el hidrómetro y con ayuda del cronómetro se toman los tiempos de sedimentación y temperatura a los 15 s, 30 s, 60 s, 1m, 2m, 5m, 10m, 15m, 30m, 1h, 4h y 24 h.
- La adición de dicho agente defloculante produce aumento en la densidad del líquido y obliga a realizar una corrección a la lectura del hidrómetro observado; dichas

correcciones tanto de menisco (Cm) como por aumento de densidad (Cd) y Corrección por temperatura (Ct).

Los procedimientos de cálculo se encuentran detallados en libros de mecánica de suelos[100] así como el manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes[66], y protocolo de ensayos de la ASTM[15].

3.1.3.5. CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR EL SISTEMA SUCCS.

El sistema unificado de clasificación de suelos SUCS así como el sistema de clasificación AASHTO, hace uso de tablas y gráficas: Hace uso de la tabla de distribución granulométrica, valores de LL, LP y IP, parámetros secundarios como: Cu, Cc, la carta de plasticidad propuesta por Casagrande [70]. Asimismo, hace uso de la Tabla de SUCS.

Clasificación del suelo por el sistema unificado de clasificación SUCS, el método se muestra en la prueba D2487 ASTM [17].

- Se verifica los porcentajes retenidos y pasantes de la muestra según la tabla granulométrica, de acuerdo a ello el sistema clasifica a los suelos en dos amplias categorías: Suelos de grano grueso y Suelos de grano fino. Los suelos de grano grueso son de naturaleza tipo grava o arenosa con menos del 50% pasando la malla N° 200. Los suelos de grano fino refieren a limos y arcillas, considerándose como grano fino cuando más del 50% pasa el tamiz N° 200, en este primer filtro se puede discriminar si la muestra pertenece al agregado grueso o al agregado fino, luego estas dos categorías se subdividen a su vez en grupos que reciben la simbología de grupo con un prefijo; G, S, M, C y Pt para nombrar a las partículas de Grava, Arena, Limo, Arcilla y turbas o material orgánicos respectivamente, pero estos grupos se dividen de acuerdo al material pasante por los diferentes tamices como la fracción pasante por el tamiz N° 4 y N° 200 (se usaron los valores obtenidos en las tablas de distribución granulométrica).
- Se utilizan otros símbolos adicionales para la clasificación; W: bien graduado; P: mal graduado; L: baja plasticidad y H: alta plasticidad, los primeros dos símbolos en función de los Cc y Cu, y los últimos dos en función de los valores obtenidos del LL (LL < 50 : baja plasticidad (L); LL >50 alta plasticidad (H)); estas denominaciones se usan exclusivamente para finos; también se usaron los valores del LL y IP como datos de entrada en la carta de plasticidad, para encontrar

la zona a la que pertenece el suelo y darle la denominación final a las tres muestra de suelo.

- Se utilizan los datos obtenidos en los límites de consistencia y en la granulometría para ubicar las muestras de los suelos estudiados dentro de los parámetros exigidos por el sistema.

3.1.3.6. SELECCIÓN DEL MATERIAL TIERRA ADECUADO.

De acuerdo a los ensayos en laboratorio de caracterización de las tres muestras de tierra y la clasificación desarrollada según SUCS, se cuenta con información de los tipos de tierra disponibles y se puede definir cuál de ellas es la más adecuada para ser utilizada.

La tierra analizada debe cumplir semejanza de condiciones o ser del mismo tipo que el suelo predominante en la serranía del país o del valle de costa con la finalidad que puedan replicar las condiciones de trabajo y ser fácilmente usada a nivel de pobladores de campo. Según los resultados obtenidos se elige la mejor opción de tierra para realizarle los últimos ensayos: Ensayo de compactación Proctor y el Análisis de Difracción por rayos X, esto debido a los costos y disposición de la muestra.

3.1.3.7. COMPOSICIÓN DEL SUELO POR ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN POR RAYOS X

Las muestras de suelo analizadas en los ensayos anteriores, presentan regular cantidad de finos, (> 12% de su peso pasaron la criba N^o 200), la presencia mayoritaria de este material determina un suelo cohesivo o plástico, es necesario el reconocimiento de todos los componentes minerales, tipos de arcillas presentes y su proporción a nivel cuantitativo.

Este procedimiento sólo se ejecutará a la muestra 2-Huachipa, por presentar mayor existencia de finos.

El difractómetro usado en este ensayo es de la marca BRUKER, modelo D8 ADVANCE Eco, de geometría Bragg Bentano, de incidencia óptima para la ejecución del DRX; el tubo de rayos X es de Co de 1KW y de longitud de onda de 1.79 Å, junto a ello, se usó el software DIFFRAC.EVA el cual realiza la interpretación de los datos del DRX, parámetros tales como la cristalinidad y determinación del tamaño de cristalitas [101], el procedimiento y métodos operativos de ensayo están descritos en manuales de laboratorio especializados en el tema [102].

3.1.3.8. ENSAYO DE COMPACTACIÓN DE SUELOS: PRUEBA DE PROCTOR MODIFICADO.

El ensayo de Proctor reproduce en laboratorio el tipo de compactación uniforme de la parte inferior hacia la superficie de la capa compactada, como ya se dijo según el tipo de muestra que se dispone se adecua el método a usar, para el caso que nos ocupa, se utilizará el Proctor modificado tipo A, debido a las especificaciones dadas por la norma donde enfatiza que se debe realizar el método A porque el material fino pasante es superior [103].

Este ensayo consiste en disponer un suelo con un contenido de humedad determinado y colocado en 5 capas en un molde Proctor estandarizado de 4 ó 6 pulgadas (101,6 o 152,4 mm), donde cada una de las capas es compactada a 25 golpes con un pisón de 10 lbf (44,5 N) desde una altura de caída de 18 pulgadas (457 mm), sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación total de aprox. 56 000 lbf-pie/pie³ (2700 KN-m/m³). Se determina el Peso Unitario Seco resultante.

El procedimiento se repite con un número suficiente de contenidos de agua para establecer una relación entre el Peso Unitarios Seco y el Contenido de Agua del suelo, estos datos deben ser ploteados representando una relación curvilínea conocida como la Curva de Compactación. Los valores de Óptimo contenido de agua y máximo Peso Unitario Seco modificado son determinados de la curva de Compactación [80] .

El procedimiento de ensayo utilizado se basa en la Norma ASTM-1557-91 [16]. Asimismo, en la Guía de laboratorio de mecánica de suelos UNI [104].

3.1.4. MÉTODOS FISICOQUÍMICOS:

Los métodos de análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería Civil – UNI, a continuación se presentan los siguientes:

3.1.4.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CLORUROS EN SUELOS.

La cantidad requerida de la muestra es aproximadamente 250 gramos (10 oz). Las muestras son secadas en el horno a temperaturas menores de 60 ° C (140 ° F) y trituraron para pasar el tamiz No. 10. El método de ensayo se realiza de acuerdo a protocolos solicitados en Normas ASTM y AASHTO [105]. Los resultados se reportan como Ion Cloruro (Cl⁻) en mg / kg o en ppm.

3.1.4.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SULFATOS EN SUELOS.

Las pruebas desarrolladas se llevaron a cabo de acuerdo a NTP y AASHTO [106] . Se presenta como ion sulfato (SO_4^{2-}) en unidades de mg/kg o en ppm.

3.1.4.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE SALES SOLUBLES EN SUELOS.

Las pruebas desarrolladas se llevaron a cabo de acuerdo a NTP, MTC [107]y ASTM[108] . Los resultados hallados se presentan en unidades ppm.

3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA FABRICACIÓN DE UNIDADES DE ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL Y LADRILLO COMÚN.

3.2.1. Fabricación de adobes de suelo-cemento compactado.

La fabricación de los “adobe compactados” se llevó a cabo en los ambientes de laboratorio, en el cual dispone de equipos, dispositivos y molde para su fabricación, los cuales se detallan a continuación:

Tabla 8. Equipos y herramientas usadas en la fabricación de adobes compactados.

Equipos	Características
Molde de compactación	Molde de metal de mediana densidad (espesor 1pulgada o 2.5 cm) hecho a medida con un volumen interior de 24,6*13*14,4 cm compuesto por una plancha base; matriz ajustable y tapón. La cual se monta sobre una base de asiento que es la plataforma de apoyo de la prensa.
Prensa hidráulica	Marca Delfabro S.A.C, con manómetro adosado, corrida de 0-40 toneladas fuerza, aproximación de 25 kg.
Balanza digital	Capacidad de 30 kg, con aproximación de 5g.
Balanza digital	Capacidad de 2 kg, con error de 0,1 g.
Termohigrómetro digital	De la marca RadioShack modelo 630034, error: $\pm 0,3^{\circ}C$, $\pm 2\%$ hr
Tamiz	De abertura cuadrada de 3,35 mm equivalente a malla N ^o 6.
Bugui	Carretilla de transporte, capacidad 50 kg.
Jarra medidora	Capacidad de 0,5 y 1 L.
Herramientas varias	Taco de madera, baldes, palas, espátula, badilejo, platillo, regla metálica, wincha.

Los porcentajes de la mezcla tierra-cemento son previamente fijados para cada serie tipo y la cantidad de agua, se hace uso de los resultados obtenidos del Ensayo Proctor, en donde define la humedad óptima de 12,7% para este tipo de suelo.

El proceso de fabricación; inicia después de haberse escogido una tierra apta verificada por los ensayos de campo, ensayos físicos, químicos y de laboratorio antes mencionados.

Preparación de la tierra: Se empieza con el secado expandiéndose la muestra sobre una superficie plana, donde el sol y el aire penetren en la totalidad del volumen de tierra, para que seque y sea más fácil la trituración y tamizado de ésta, usando un tamiz de malla N° 6 cuyo diámetro de abertura es 3,35 mm, se utiliza el material pasante del tamiz eliminando: bolomerías, piedras y grava gruesa. Una vez tamizado el material se colocan en bolsas herméticas hasta el momento de su uso, a fin de evitar ganar humedad ambiental.

Preparación de la mezcla: Inicialmente se mezclan los materiales secos, tierra y cemento en los porcentajes definidos por serie tipo, luego se adiciona agua de manera gradual cuyo valor es 12,7% en peso, porcentaje definido en el Ensayo de Proctor, se procede a mezclar de manera tal, que la masa sea uniforme y el agua llegue a humedecer toda la mezcla, a ésta se la definirá como *mezcla 2*, y por ser una mezcla semi-seca se pone especial cuidado en el amasado uniforme a fin de distribuir el agua por cada partícula seca de tierra.

Compactado: Se coloca la mezcla en el molde matriz de compactación que debe estar montado sobre la plataforma de la prensa, de manera tal que se distribuya uniformemente ocupando todo el volumen de la caja matriz, evitando vacíos en las esquinas, finalmente se verifica con un nivel de mano la planitud de la mezcla antes de colocar la tapa, asegurando su verticalidad, de no ser así, la compactación se podría dar de manera irregular, presentando alturas diferentes. Se verifica que la válvula de ajuste este cerrada y se procede a la compactación establecida (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 Ton).

Cuando se llega a la presión establecida, se mantiene fijo durante 5 minutos, el brazo de palanca que accionó el descenso gradual del pistón de la prensa, a fin que termine de armarse el bloque dentro de la caja de compactación, pasado este tiempo se suelta la perilla que libera el aire y el pistón vuelve a su posición inicial.

Desmolde: Se hace uso de un taco de madera, el cual se coloca bajo la plancha base; se sueltan las manijas de ajuste de las paredes de la caja de compactación y a través del taco de apoyo, se desliza la caja, sin hacer vibraciones ni golpes bruscos que puedan ocasionar posibles fisuras. Una vez liberado el adobe, se lleva a una superficie plana y libre de piedras, colocándose de manera lateral, para así retirar fácilmente la plancha base adherida al bloque compactado.

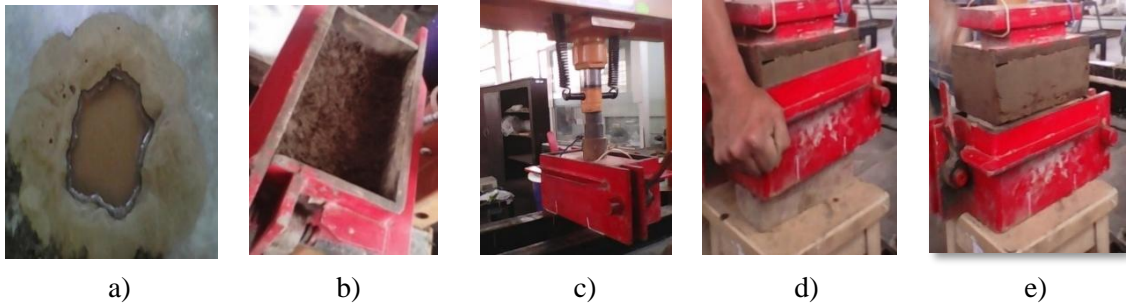


Figura 15. (a)Preparación de la mezcla. (b)Llenado de la mezcla semiseca, (c) Compactación, (d) Desmolde, (e) Adobe compactado

Secado: Se deja secar bajo sombra, protegido de corrientes de aire fuertes y a temperatura constante con una humedad menor al 80% [18]. El tiempo de secado es de 14 a 21 días o cuando se dé la estabilización higroscópica, cuando su variación de peso a lo largo del tiempo sea estable. A los 4 días se voltean de canto, y en la etapa final del secado se colocan los ladrillos uno encima de otro formando pequeñas torres de un ladrillo por lado y de aproximadamente 1m a 1,20m de alto, esto con la finalidad de mantener una correcta aireación de las mismas.

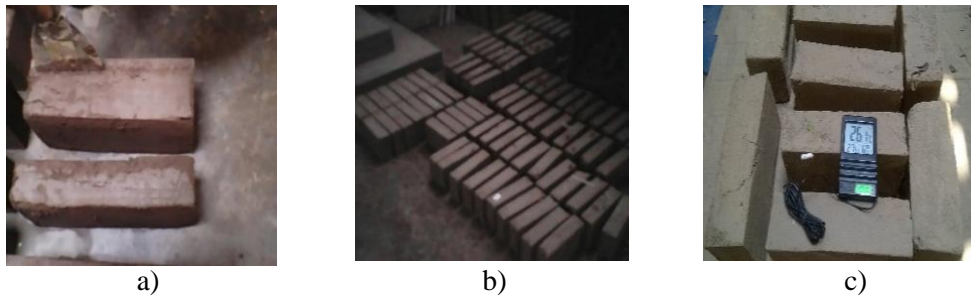


Figura 16. Fabricación de adobes: (a) Desmolde y retiro de plancha base; (b) disposición final de adobes compactados, (c) Registro de temperatura y humedad de secado de 65%.

Pasado el tiempo de secado y habiendo llegado a la “Estabilización Higroscópica”, el adobe está listo para ser caracterizado tanto térmica como mecánicamente.

3.2.2. Fabricación de adobes, sin compactar crudo o “adobe convencional”.

La confección del “adobe convencional” se realizó en el taller donde se compró la tierra y donde además se fabrican ladrillos y tejar artesanales. En la fabricación de los adobes convencionales, se usan moldes y herramientas los cuales se detallan a continuación.

TABLA 9. Equipos y herramientas usadas en la fabricación de adobes convencionales.

Equipos	Características
Molde o gavera.	Molde de madera sin fondo, de dimensiones internas 20*11*8 cm.
Balanza digital	Capacidad de 30 kg, con aproximación de 5g.
Balanza digital	Capacidad de 2 kg, con error de 0.1 g.
Termohigrómetro digital	De la marca RadioShack modelo 630034, error: +-0.3 °C, +-2 %hr
Tamiz	De abertura cuadrada de 5 mm equivalente a malla N ^o 5.
Bugui	Carretilla de transporte, capacidad 50 kg.
Jarra medidora	Capacidad de 0.5 y 1 L.
Herramientas varias	Baldes, palas, espátula, badilejo, platillo, regla metálica, wincha, plástico de mediana densidad.

Fuente: Elaboración propia.

La mezcla usada para la fabricación del adobe convencional se define como **mezcla 1**, no lleva estabilizantes y donde el porcentaje de agua aportada aproxima al 20% en peso con respecto al material seco. El proceso de fabricación es el siguiente:

Preparación de la tierra: la fabricación es convencional, por el tipo de elaboración, son elaborados de tierra “dormida”, previamente secada a intemperie y tamizada a fin de separar bolomerías y piedras de mayor tamaño a la abertura de la malla del tamiz (5 mm), el tamaño de grano es importante ya que si el grano es pequeño, este se puede comportar como un fino; lo que le otorga la cualidad de cohesión a la tierra.

Preparación de la mezcla: la mezcla es de barro y presenta plasticidad, se denominará **mezcla1**, a diferencia de la mezcla para adobes compactados, la cual usa una mezcla semi-seca, ya detallada anteriormente. El contenido de agua aportada se da de acuerdo a la manejabilidad de la mezcla, la relación es de 1 balde grande de 20 L para 1 bugui o carretilla llena de tierra, que sería en proporción de 1:4 agua-tierra.

Se preparara una mezcla de albañilería común, haciendo un montículo de tierra y sobre esta un hoyo donde va el agua que lentamente será absorbida, para luego ayudándose de palas y planchas, amasarla hasta llegar a una consistencia plástica y manejable, una vez

hecho el barro, se procede al dormido, este proceso se da por 2 días y consiste en tapar la masa de tierra con un plástico denso o impermeable para evitar la evaporación del agua contenida en la masa y así el agua de la mezcla llegue a humedecer todo el volumen de la masa de tierra, activándose el componente vivo de la tierra, que es la arcilla, la cual le otorga propiedades al suelo, de cohesión y sobre todo de plasticidad.

Moldeado: en cuanto al moldeo, ya no se usaría la caja matriz de compactación así tampoco la prensa hidráulica, sino en su lugar un molde de madera o gavera sin fondo, teniendo cuidado de la buena distribución de la mezcla en el molde, evitando en lo posible vacíos, referente a las presiones de compactación, estas ya no existirían.

Pasado el tiempo de dormido, la masa de barro esta lista para el moldeo, buscándose un lugar de trabajo plano y limpio a manera de eliminar las piedras, pajillas e impurezas que podrían marcar la cara de asiento donde va descansar el adobe fresco, en su proceso de secado, se toma la gavera de madera sin fondo y se sumerge en agua, luego se espolvorea arena fina en el interior del molde y del suelo que va tener contacto. Se toma parte de la masa plástica y se arroja con fuerza en forma de bolas dentro del molde, a fin de ocupar todo el espacio, teniendo cuidado de llenar todas las esquinas y finalmente se empareja la superficie con una regla metálica mojada, para eliminar excedentes.

Desmolde: el desmolde es instantáneo una vez llenado la gavera, teniendo cuidado de no deformar el adobe recién hecho, esta facilidad, se da por la consistencia plástica a la que llega la masa después del tiempo de dormido, y por el baño que se hizo al molde en agua y arena que evita la adherencia entre la masa de barro y las paredes internas del molde.

Secado: se realiza bajo sombra y protegido del viento, a fin de evitar una posible evaporación rápida. A los 4 días se deben voltear de canto para que sequen de manera uniforme y pasado una semana se pueden apilar los adobes ya secos, hasta esperar el secado definitivo a los 28 días [19, p. 14].



Figura 17. (a) Vista del Taller de fabricación de ladrillos artesanales, con el material suelto disponible, (b) Mezcla de barro con mayor contenido de agua, (c) Mezcla de barro dormido, tapado con plástico denso, (d) Moldeado del barro en gaveras.

3.2.3. Fabricación de adobes, sin compactar cocidos o “ladrillo artesanal”.

La fabricación del “adobe convencional cocido” o “ladrillo artesanal cocido”; se realizó en Huachipa y el proceso de cocción en “Ladrillera Suyos”, donde disponen de un horno semi-industrial, a diferencia del horno de tipo abierto, que no asegura una cocción uniforme.

En la fabricación de los adobes cocidos, se utilizaron los mismos materiales, herramientas e insumos usados para la fabricación del adobe convencional, con la diferencia del uso de horno.

El proceso de fabricación, es similar al del adobe convencional, no contiene ningún aditivo estabilizante y está elaborado de tierra “dormida”, a diferencia del convencional recibe un tratamiento en su proceso final de secado, después de algunos días son trasladados al horno de cocción para puedan alcanzar una mayor resistencia mecánica.

Proceso de Quema: fueron llevados a cabo en una ladrillera semiindustrial del tipo horno hermético; el material combustible utilizado: mezcla de guano, aserrín y carbón mineral, este es ingresado, desde la parte superior del horno de quema, por medio de tolvas accionadas por un pequeño motor de paso que agrega gradualmente la mezcla combustible. La temperatura de Combustión llega aproximadamente entre los 1000°C-1300 °C.

Inicialmente, las unidades se colocan, en las bóvedas, con un amarre tal que permita el ingreso de aire, deben estar ligeramente espaciadas, distribuidas en un paño de 3*6 m, luego se coloca en la parte inferior pequeñas briquetas de carbón mineral, para ayudar en la combustión interna del horno. Una vez llenado se cierra el horno con las mismas unidades y con una mezcla de mortero, a fin de cerrar con una pared toda la cámara de combustión, seguidamente se inicia el fuego desde la parte inferior por medio de unas ventanas de ingreso de aire que conectan las bóvedas como si fuesen galerías, esta quema es alimentada desde la parte superior por medio de las tolvas que contienen el material combustible.

Cuando termina la alimentación del combustible, se abren las válvulas de ventilación que recorren las 3 bóvedas que dispone este horno, esta válvula también permite regular o acelerar el proceso de quemado dependiente del ingreso de aire accionado por ésta. Las unidades que se fabrican son de tipo comercial como el ladrillo pandereta, ladrillo king-kong y a pedidos: tejar, adoquín y adobe 40*40 cm.

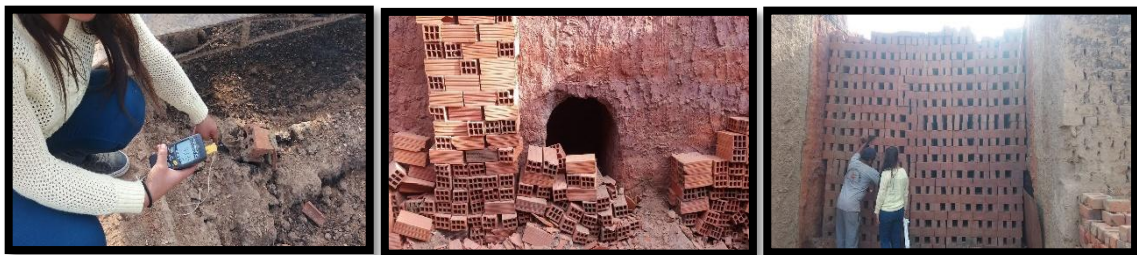


a)

b)

c)

Figura 18. (a) hilera de tolvas llenas de combustible en ladrillera semiindustrial, (b) toma de temperatura a nivel de la entrada del material combustible. (c) punto de visualización y toma de temperaturas de la cámara interior del horno.



a)

b)

c)

Figura 19. (a) Registro de temperatura al nivel de ingreso del combustible; (b) abertura de ingreso de aire y encendido de la cámara, (c) Armado de las unidades en paño.



a)

b)

c)

Figura 20. (a) Vista del fondo de bóveda donde van apilados las unidades; (b) Sistema de Ventilación que abastece a las 3 bóvedas de quemado; (c) Vista del horno de quemado en ladrillera semiindustrial “Suyos”.

3.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y MECÁNICA DEL ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL y LADRILLO COMÚN.

3.3.1. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los ensayos de resistencia mecánica se desarrollaron en el laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales de la Facultad Ingeniería Civil. FIC-UNI.

Previamente a los ensayos, se requiere de procedimientos preparatorios a las muestras, los cuales se detallan a continuación:

Procedimientos previos de laboratorio

- Previo a los ensayos por compresión o flexión; se hace un pre- tratamiento llamado “refrentado” o “caping”, consiste en emparejar la superficie anterior y posterior, los cuales tienen contacto con las placas sobre la cual va el pistón de la prensa. Se elabora una mezcla conocida como diablo fuerte de yeso-cemento 2:1 y consistencia semi pastosa fluida, para cubrir las caras de apoyo.
- La mezcla de yeso-cemento-agua, se coloca a manera de cubrir y emparejar las superficies de contacto. La mezcla o lechada se coloca de manera fluida sobre una mica en una superficie plana y sobre esta se colocan los adobes, se dejan unos 10 min aproximadamente hasta que fragüen ligeramente, se revisa con el nivel de mano la verticalidad, luego se da vuelta y se cubre la cara faltante.
- Este procedimiento se le hace a todas las unidades que se disponen y también a las caras anterior y posterior de los prismas de adobes, que van en contacto con las superficies de asiento y la superficie expuesta al pistón de la prensa que va realizar el ensaye. Terminado el capeado se deja completar el fraguado por un mínimo de 24 horas.



Figura 21. (a) Mezcla para el capeado de unidades, (b) Adobes ya capeados, próximos a fraguar

3.3.1.1. Ensayo de Resistencia a la compresión en unidades de albañilería

Los equipos y materiales utilizados para este ensayo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 10.Equipos y materiales usados en los Ensayos de resistencia a compresión de la unidad.

Equipos y Materiales	Características
Máquina de Compresión TINIUS OLSEN	Controla dos tipos de cargas; cargas menores (hasta 30 000kg) y cargas mayores (hasta 150 000 kg) accionadas por dos manijas, el error que presenta es de ± 25 kg.
Placas de Acero	2 unidades de 6 mm de espesor, 40 cm de ancho y longitud de 50 cm.
Unidades de albañilería.	Bloques compactados, adobes convencionales, ladrillo cocido y probetas no compactadas.

- Después del capeado las unidades, deben ser dimensionadas, tomándose como válido el promedio de 3 medidas por cara: largo, ancho y altura, luego se dispone la unidad entre las placas de acero y se coloca en la máquina de compresión, se hace descender el pistón o vástago, hasta que haga contacto con la placa superior, se debe ubicar el cabezal en el centro de la superficie superior del bloque.
- La unidad va ser sometida a una cierta carga aplicada por la prensa a una velocidad determinada, hasta alcanzar la mitad de la resistencia esperada, la carga remanente se aplica a una velocidad uniforme en no menos de 1 minuto ni más de 2 minutos [89].
- Se determina el momento de fractura, registrando las medidas que marcan las agujas, esto corresponde a la carga de fisuramiento en kgf por área de sección (kgf/cm^2).

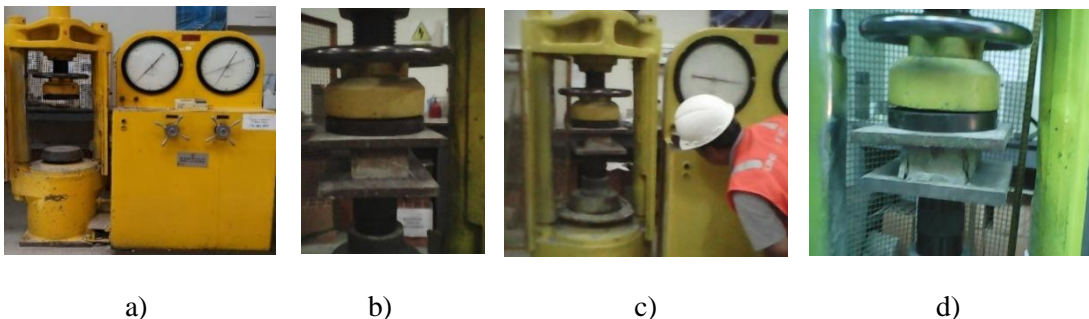


Figura 22. (a) Máquina de Compresión Universal Tinius Olsen, (b) Ubicación de la unidad entre 2 placas paralelas, (3) Regulación y verificación del vástago en el centro de la unidad, (d) Falla o rotura del adobe.

3.3.1.2. Ensayo de Determinación del Módulo de rotura.

Los equipos y materiales utilizados en este ensayo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11. Equipos y materiales usados en los Ensayos de resistencia a Flexión de la unidad.

Equipos y Materiales	Características
Máquina de Compresión TINIUS OLSEN	Controla dos tipos de cargas; cargas menores (hasta 30 000kg) y cargas mayores (hasta 150 000 kg) accionadas por dos manijas, el error que presenta es de ± 25 kg.
Placas de Acero	1placa de 6 mm de espesor, 40 cm de ancho y longitud de 50 cm.
Barras de Acero	3 barras de 12,7 mm de diámetro y longitud 50 cm.
Unidades de albañilería.	Bloques compactados, Adobes convencionales y ladrillos cocidos.

- Una vez seco el capeado, se tomaron las medidas de largo ancho y espesor promedios de las unidades. Seguido a esto, se toma la arista de mayor largo y se marca un par de líneas a 2,5 cm de los extremos, se marca con otra línea en el punto medio de la arista opuesta a la línea marcada, ésta acción se realiza en cada uno de los adobes que van a ser ensayados.
- Se ubica sobre la base de prensa la placa de acero, y sobre esta los apoyos que son dos barras de acero ubicadas a 2,5 cm del borde del adobe, coincidiendo con la marca que se realizó inicialmente. Sobre la superficie superior del adobe, se ubica la tercera barra en el punto medio coincidente con la última línea marcada.
- Se debe evitar que las barras se deslicen mientras se ajusta la prensa hasta que el cabezal tome contacto con el rodillo superior. Se aplica la carga hasta la rotura a una velocidad no mayor a 8 896 N/min [88].

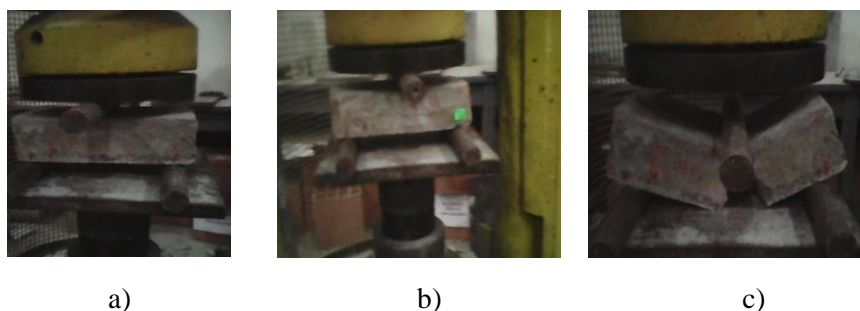


Figura 23. (a) Ubicación de las barras en la unidad, (b) Aplicación progresiva de la carga, (c) Momento de rotura o falla cuando se le aplicó la máxima carga flexionante.

3.3.1.3. Ensayo de Resistencia a la compresión en prismas de albañilería.

En este proceso se fabrican “prismas de albañilería” de “unidad sólida”, que serán ensayados a compresión; estos se confeccionarán utilizando como base las unidades que se fabricaron inicialmente: bloques compactados, adobes convencionales y ladrillo artesanal.

Construcción de prismas de albañilería:

- Se realiza utilizando unidades representativas, de superficie regular, sin fracturas y de presentar pestañas o salientes, éstas deben retirarse con una sierra antes de la fabricación de los prismas [89].
- Los prismas se construyeron en forma de pilas con unidades de albañilería del mismo tipo previamente humedecidas en la cara de asiento, a fin de que no absorban el agua contenida en la mezcla de la junta, para luego colocar sobre esta una capa de mortero de 1,5 cm de espesor, y sobre esta se ubica la siguiente cara de asiento humedecida.
- El número mínimo de unidades será de 4 y su coeficiente de esbeltez (altura/espesor) del orden de aproximadamente 3, debiéndose tener especial cuidado en mantener su verticalidad; así el número mínimo de prismas a ensayar son 3 para obtener un valor confiable en los resultados [12, p. 18] y el tiempo mínimo de secado del mortero entre juntas es de 28 a 30 días, en un ambiente bajo sombra y cuya temperatura sea de 24.0 ± 8.0 °C [89].
- Finalmente en la fabricación de los prismas de cada serie se usaron 5 unidades, apilándose de manera vertical, con ayuda del nivel de mano.

Prismas de adobe compactado:

- En el caso de los prismas de adobe compactados, se confeccionaron 12 prismas de albañilería de unidad sólida, el cual utilizó junta de mortero de 1,5 cm de espesor cuya dosificación corresponde a la misma proporción de cemento de la unidad fabricada, Esto quiere decir que para un prisma cuyo $W_c \% = 5 \%$ su junta de mortero también es del 5 % de cemento.
- En esta fase se usaron adobes de suelo-cemento Compactados a una Presión de Compactación (P_c) de 6T, fijando así un parámetro: Presión de Compactación Constante ($P_c \text{ cte} = 6 \text{ T}$) y Porcentajes de cemento Variables ($W_c\%$: 5%, 10%,15%, 20%). Obteniéndose un total de 12 prismas repartidos en 4 tipos o series de adobes.

Tabla 12. Cantidad de prismas por “tipo o serie” de adobe.

Presión de Compactación(P_c)	Porcentaje de Cemento en peso ($W_c\%$)			
	5%	10%	15%	20%
6T (1.86MPa)	3 prismas	3 prismas	3 prismas	3 prismas

Prismas de adobe convencional o ladrillo crudo:

Se fabricaron 3 “Prismas de albañilería”, tomando unidades de adobe tipo macizo de cara sólida, en su estado crudo, son comparados con los valores que se obtengan en el Ensayo de Resistencia a la compresión de Prismas de adobes de suelo-cemento compactados.

- Para los prismas elaborados a partir del adobe convencional, se confeccionaron 3 prismas de albañilería de unidad sólida, se utilizó junta de mortero de 1,5 cm de espesor, cuya dosificación de mortero es según la norma de albañilería E. 0.70, arena: cemento, en las proporciones de 4:1, utilizando el cemento Portland Tipo I.
- En la confección de los prismas se usaron 5 unidades del tipo convencional para cada prisma, las unidades se fabricaron y detallaron anteriormente, no llevan conglomerantes ni Presión de compactación añadida.

Tabla 13. Cantidad de prismas de adobe convencional crudo.

Presión de Compactación(Pc)	Porcentaje de Cemento en peso (Wc%)
0T	0%
	3 prismas de adobe convencional o ladrillo crudo

Prismas de adobe convencional cocido o ladrillo artesanal:

- Se fabricaron 3 “Prismas de albañilería”, de unidades macizas de cara sólida, seguidamente son llevados al horno en su estado cocido. Los valores que se obtengan en el Ensayo de Resistencia a compresión de prismas, serán comparados respecto a los valores que se obtendrán en el ensayo de prismas de adobe o ladrillo crudo.
- Para la junta se usó una capa de 1,5 cm de mortero de las mismas características al usado en construcción, el cual se dosifico según norma E 0.70 (mezcla de arena: cemento en proporción 4:1) y cemento Portland Tipo I, el mortero debe ser de consistencia pastosa.
- En la fabricación de los prismas se usaron 5 unidades, la altura de estas piezas es similar a las del adobe compactado y al adobe crudo sin compactar, la fabricación y tiempos de secado son los que se detallaron en el ítem construcción de prismas

Tabla 14. Cantidad de prismas de adobe convencional cocido.

Presión de Compactación(Pc)	Porcentaje de Cemento en peso (Wc%)
	0%
0T	3 prismas de adobe cocido o “ladrillo artesanal”

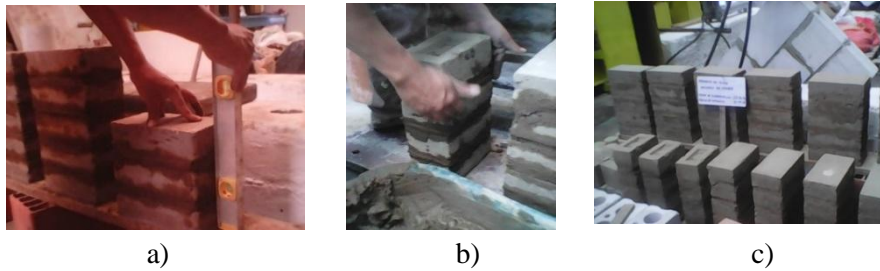


Figura 24. (a) Asentado y nivelado de adobes compactados; (b) asentado de ladrillo artesanal crudo, (c) Vista total de los prismas fabricados.

Ensayo de Resistencia a compresión en prismas.

Tabla 15. Equipos y materiales usados en el Ensayo de resistencia a compresión de Prismas.

Equipos y Materiales	Características
Máquina de Compresión TINIUS OLSEN	Controla dos tipos de cargas: menores < 30 000 kg) y > 50 000 kg) accionadas por dos manijas, el error que presenta es de ± 25 kg.
Placas de Acero	2 unidades de 6 mm de espesor, 40 cm de ancho y longitud de 50 cm.
Prismas de albañilería.	18 Prismas de Albañilería hechos con: Adobes Compactados, Adobe convencional y ladrillo cocido.

- Se realiza el dimensionado y determinación del área neta, tomándose el promedio de 4 medidas por cada una de las dimensiones de largo, ancho y altura, luego se procede con el refrentado o capeado de las caras superior e inferior del prisma, aquellas que estarán en contacto con las placas de acero.
- Pasado el tiempo de secado del refrentado, se coloca el prisma en la máquina de compresión, ubicándose en el centro del plato de carga inferior. Se registra la carga de ruptura y se hacen los cálculos respectivos para hallar el valor del f'_m .

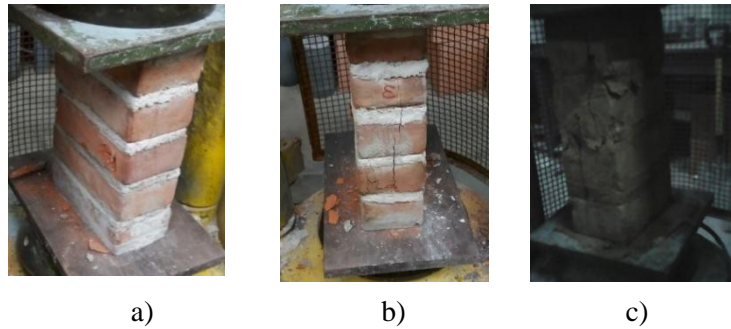


FIGURA 25. (a) Prisma de albañilería de adobe artesanal cocido, (b) Vista de la grieta en el momento de falla del prisma al aplicarle la máxima carga de compresión.,(c) Falla o rotura del prisma hecho de adobe convencional crudo.

3.3.1.4. Ensayo de Resistencia a la compresión en probetas de suelo-cemento sin compactar.

En esta fase experimental se fabrican probetas cilíndricas que serán ensayadas a compresión; las cuales representan los puntos iniciales para el Cero en compactación, el cual marca el punto de inicio de Presiones, para todas las concentraciones de cemento (P_c : 0 MPa; $W_c\%$: 5, 10, 15,20 %), estas unidades se fabricarán utilizando como base la mezcla 2 y una tercera mezcla que es similar a ésta pero modificada en el contenido de agua.

La mezcla 2; usada en la fabricación de adobes compactados, de contenido de agua menor (12.7%), será utilizada en la fabricación de la serie de probetas no compactadas (P_c : 0MPa; **h:12.7%**; $W_c\%$: 0,5,10,15,20%) los resultados se reportan en tablas y en forma gráfica como los puntos iniciales de Presión de compactación(P_c :0MPa) para cada una de las series de cemento; estos se usaran en la gráfica que reporta “*Resistencia a la Compresión vs Presión de compactación*” para unidades de adobe compactado.

La mezcla 2 modificada; mantiene los porcentajes de materiales secos, así como el porcentaje de cemento pero se requiere un contenido mayor de agua adicionada que aproxima el h: 20%, esta mezcla también se usará en la fabricación de probetas no compactadas (P_c : 0MPa; **h: 24%**; $W_c\%$: 0,5, 10, 15,20%), con lo cual se tendrá otro juego de probetas para hacerse la comparativa entre ambas series correspondiente a dichas mezclas. Los resultados se reportan en tablas y en forma gráfica como la “*Influencia del agua en mezcla de adobes compactados*”

Finalmente la clara diferencia entre ambas series de probetas será el contenido de Agua adicionada, siendo las congruencias o similitudes, las variables de Presión de Compactación (P_c : 0MPa) y Contenido de cemento.

Fabricación de probetas de suelo-cemento sin compactación.

Se fabricaron 30 probetas cilíndricas repartidas en los dos tipos de mezcla antes mencionados.

Tabla 16. Cantidad de probetas por “tipo de mezcla”.

Presión de Compactación(Pc)	Porcentaje de Cemento en peso (Wc%)				
	0%	5%	10%	15%	20%
Mezcla 2 para adobes compactados 0MPa y h% 12.7%	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas
Mezcla 2 modificada 0MPa y h% 24%	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas	3 probetas

- **Preparación de la tierra;** se realizó el tamizado y secado extendido a intemperie, utilizando la malla N° 6 a fin de separar bolomerías y piedras de mayor tamaño a la abertura del tamiz (tamaño de abertura 3.35 mm).
- **La preparación de la mezcla;** es igual a la que se preparó para adobes compactados (mezcla 2), con el mismo porcentaje de agua (12,7%), para cada una de las dosificaciones de cemento. Adicional a esto se trabaja con la mezcla 2 modificada, la cual mantiene la dosificación de los materiales secos que la mezcla 2 original, con la única diferencia que el contenido de agua adicionado es mayor llegando a ser el h:20% para cada concentración de cemento establecida.
- **Moldeado;** debido a que las probetas representan al cero de compactación, estas no van a ser fabricadas con alguna presión de compactación para su moldeo sino más bien, se usará una varilla que haga el acomodo de las partículas y de la mezcla a manera de homogenizarla y que ésta llegue hacia el fondo del molde, liberando los vacíos que se puedan formar dentro, la masa agregada es aproximadamente 3 500g, con una densidad inicial de 2090-2200 kg/cm³ para todas las probetas.
- **Desmolde:** Debido a que la probeta no tiene compactación se le da una semana de secado para que termine de armar la mezcla semiseca dentro del molde. El desmolde se realiza usando una máquina de compresión de aire que empuje la probeta para un fácil desplazamiento.
- **Secado:** el secado toma el mismo tiempo que en el caso de los demás adobes compactados de aproximadamente 14 a 21 días o hasta que se mantenga constante su peso en el tiempo.
- La cantidad mínima de unidades fabricadas por tipo será de 3, para que así se tengan valores promedios confiables.

Tabla 17. Equipos y materiales usados en la fabricación de probetas No compactadas.

Equipos y materiales	Características
Moldes cilíndrico	30 Moldes de plástico estandarizado por ASTM de mediana densidad (espesor ½ pulgada o 1.2cm) de dimensiones; Diámetro: 10.6 cm*Altura: 20.6 cm.
Varilla metálica	1 Varilla metálica estándar para chuseo de ½ plg *60 cm
Mezcla 2	Dosificaciones de cemento establecidas (Wc%): 0,5,10,15,20% ; Humedad: 12.7% ; y Pc : 0MPa
Mezcla 2 modificada	Dosificaciones de cemento establecidas (Wc%): 0,5,10,15,20% ; Humedad: 24% ; y Pc : 0MPa
Balanza digital	Capacidad de 30 kg, con aproximación de 5g.
Balanza digital	Capacidad de 2 kg, con error de 0.1 g.
Termohigrómetro digital	De la marca RadioShack modelo 630034, error: +-0.3 °C, +-2 %hr
Tamiz	De abertura cuadrada de 3.35 mm equivalente a malla N ^o 6.
Jarra medidora	Capacidad de 0.5 y 1 L.
Herramientas varias	Balde, espátula, badilejo, regla metálica, wincha.

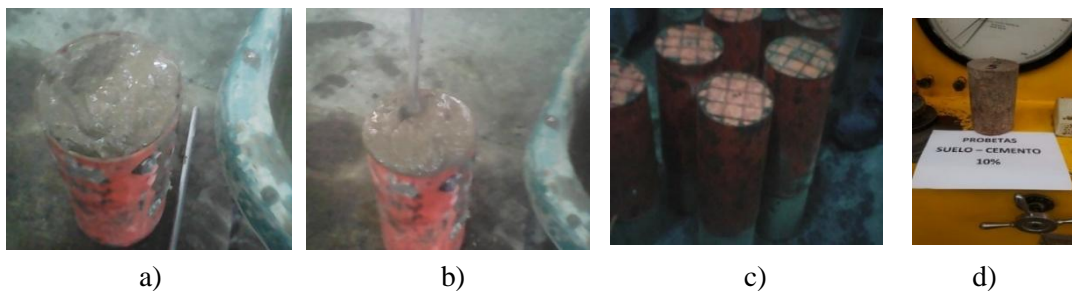


Figura 26. Fabricación de probetas no compactadas. De izquierda a derecha: (a) Llenado de mezcla, (b) Chuseo en el molde, (c) Desmolde de probetas, (d) Probeta seca de suelo cemento.

Ensayo de Resistencia a la compresión en Probetas No compactadas.

Los equipos y materiales Utilizados para este ensayo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18. Equipos y materiales usados en el Ensayo de resistencia a compresión de probetas.

Equipos y Materiales	Características
Máquina de Compresión TINIUS OLSEN	Controla dos tipos de cargas; cargas menores (hasta 30 000 kg) y cargas mayores (hasta 150 000 Familia) accionadas por dos manijas, el error que presenta es de ± 25kg.
Acople cilíndrico de Acero	2 unidades de diámetro interior 10, 5cm y embonan en la base superior e inferior de la probeta.
Unidades de albañilería.	30 Probetas cilíndricas no compactadas, fabricadas a partir de dos tipos de mezcla.

- Las unidades fabricadas, no requieren obligadamente el capping, debido a la uniformidad de éstas, a menos lo necesiten. Previamente deben ser dimensionadas, tomándose válido el promedio de 3 medidas por altura y diámetro, luego se dispone la unidad sobre la base y colocándose en la máquina de compresión, se hace descender el pistón o vástago, hasta que haga contacto con la cara superior de ésta, se debe ubicar el cabezal en el centro de la superficie superior de la probeta.
- La unidad será sometida a una cierta carga aplicada por la prensa a una velocidad determinada, hasta alcanzar la mitad de la resistencia esperada, la carga remanente se aplica a una velocidad uniforme en no menos de 1 minuto ni más de 2 min [89].
- Se determina el momento de fractura, registrando las medidas que marcan las agujas, lo cual corresponde a la carga de fisuramiento en kgf por área de sección (kgf/cm^2).

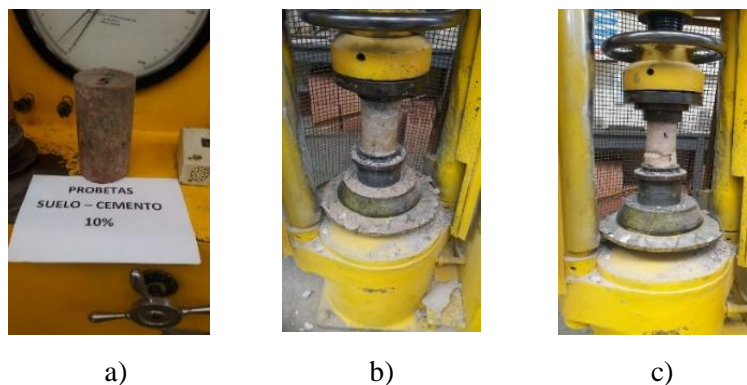


Figura 27. Ensayo de compresión en probetas no compactadas:(a) Probeta seca de suelo-cemento al 10%, (b) Probeta ubicada en la maquina universal, (c) Vista de la grieta en el momento de falla al aplicarle la máxima carga de compresión para esa unidad.

3.3.2. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA

Los ensayos de Caracterización térmica consisten en la caracterización de 2 de sus propiedades: La “Conductividad Térmica” y “Difusividad Térmica”, los cuales se desarrollarán en el laboratorio de Materiales Nano estructurados de la Facultad Ciencias. FC-UNI.

3.3.2.1. Medición de la Conductividad Térmica

Antes de la realización de los ensayos, se requiere de procedimientos previos y preparatorios a las muestras, los cuales se detallan a continuación:

Preparación de muestras

- La muestra debe prepararse con antelación, haciendo el corte y limado de las superficies de contacto, lo que se requiere son superficies uniformes, en lo posible planas, lisas y de bordes regulares, esto debido a que El TCi prueba las propiedades del material en contacto con el sensor, si el material u objeto probado no es plano, el aire o las grietas entre curvaturas también serán medidos, sin embargo este problema puede ser corregido utilizando el agente de contacto para la conducción térmica con el TCi.
- Se cortaron las unidades en pequeños cubos de fácil manipulación, se lijaron las superficies para tener aristas regulares aptas, el equipo de medición TCi usa muestras de un área y espesor mínimos de 20mm y 0.5mm respectivamente, se procura que las piezas sean de mayores dimensiones a lo sugerido.
- Se registran las características del cubo a medir, como el contenido de cemento, la serie que pertenece, la presión de compactación a la que fue fabricado, peso y volumen, para luego medir sus densidades según el método de determinación de peso volumétrico por el método de la parafina.

Medición con el equipo TCi

Los equipos y materiales utilizados para este ensayo se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 19. Equipos y materiales usados en la Medición de Conductividad térmica de unidades compactadas y no compactadas

Equipos y Materiales		Características
Equipo de conductividad Thermal	Analizador de TCi	Consta de fuente de poder, laptop con la interface del software de C-Therm basado en Windows®, Sensor de medición y accesorios: base ajustable para sensor, pesa de poyo 500 g, 1 pote de pasta o agente de contacto denominado Weickfield y muestras patrón de diversos materiales: vidrio, cerámico, espumas, polímero. El equipo previamente ya viene calibrado.
Unidades de albañilería.		Adobes convencionales, unidades compactadas, Probetas cilíndricas no compactadas.

- Se procede al ensayo de medición; colocando agente de contacto sobre la superficie de la muestra en un área aproximada de diámetro 20mm, cuyo diámetro

corresponde al diámetro del sensor que irá apoyado sobre esta. Luego se apertura el software de C-Therm y se crea una carpeta para que se grabe en la memoria interna del equipo, en el apartado “Selección de instrumentos y sensores”, se ubica el método de testeo, opción de grupo de materiales: **Polímeros**, esto debido a que no existe aún, método específico que se ajuste al tipo de muestra que se dispone y debido al rango de valores de conductividad térmica que suscribe este material de referencia (0.02-1.20 W/mK) ; en el ítem Agente de contacto: selecciona la opción Weickfield o pasta de contacto, seguido a ello, el Start test para iniciar la prueba, la toma de datos es cada 60 segundos y se debe hacer una lectura de aproximadamente 30 min para tener valores promedio fiables. Se exportan los resultados en Excel.

- La medición se realizó en las diferentes aristas del cubo labrado, esto indica las características térmicas basadas en la orientación, también usando la configuración invertida en caso la muestra sea de mayores dimensiones, para lo cual la pesa, irá apoyada sobre el sensor. También se usó el método de la rejilla que data múltiples ubicaciones en una misma arista[109] ,ya que la muestra lo amerita debido a una mezcla compuesta o relleno interior que presente la muestra.

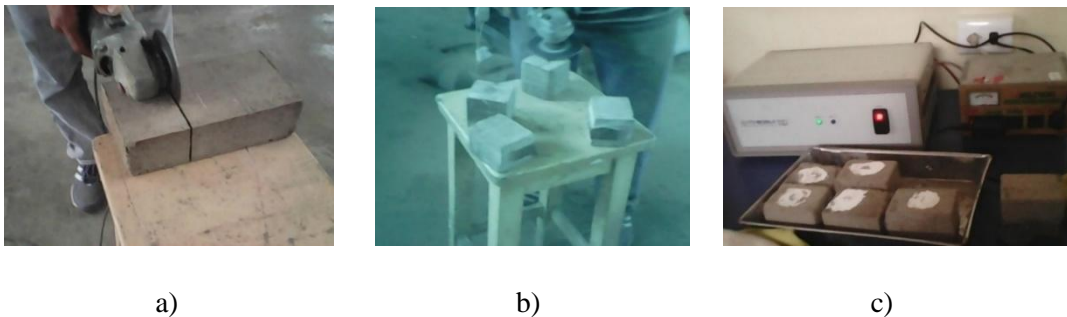


Figura 28. Preparación de muestras: (a) Corte de cubos (b) perfilado y limado de cubos, (c) muestras preparadas con agente térmico.

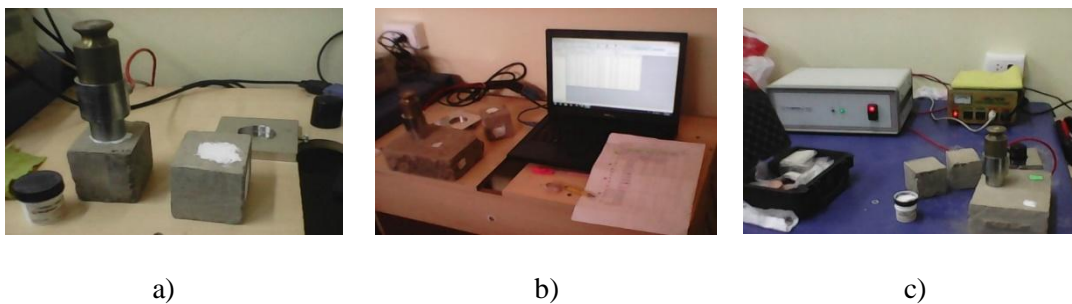


Figura 29. Medición de la Conductividad térmica con el equipo TCi: (a) testeo de Cubos en configuración invertida del sensor (b) Adquisición de resultados, (c) Medición en unidades enteras

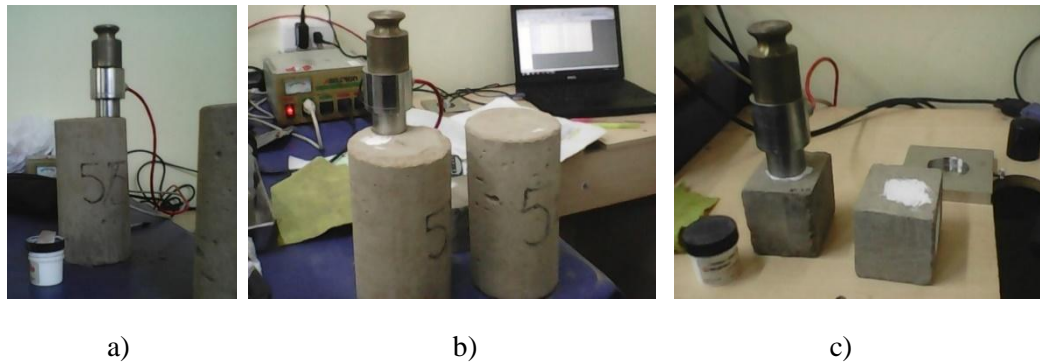


Figura 30. Medición de probetas no compactadas con el equipo TCi: (a) Medición de probeta no compactada al 5% Cemento (b) Prueba en diferentes orientaciones de la muestra (c) Pruebas en múltiples ubicaciones de la arista del cubo.

3.3.2.2. Medición de la Difusividad Térmica

La medición de la difusividad térmica requiere de una configuración de muestra diferente a la muestra cubica que se usó en la medición de conductividad; en este caso se usan probetas cilíndricas de adobe. El equipo de medición de difusividad térmica requiere de muestras cilíndricas cuyas dimensiones tengan una relación de radio-altura 1:2.5 El equipo se montó acondicionando el método de Amnstrong.

Antes de la medición experimental, se requiere de la fabricación de muestras, la cual se detalla a continuación:

3.3.2.2.1. Fabricación de probetas de tierra compactada

Esta fase experimental corresponde a la fabricación de probetas de tierra sin agregado de cemento y con la aplicación de Presiones de compactación equivalentes a las que se fabricaron los adobes compactados, éstas se hicieron en un molde de compactación de acero inoxidable, obteniéndose probetas compactadas de dimensiones: diámetro 37.4 mm y altura: 105 mm aprox.

Tabla 20. Equipos y materiales utilizados en la fabricación de probetas de tierra compactada, para testeo de la Difusividad térmica.

Equipos y Materiales	Características
Molde de compactación	Molde de compactación cilíndrico de metal de mediana densidad (espesor 1pulgada o 2,5cm) consta de 3 piezas: base o pistón inferior; cilindro matriz y pistón superior, hechos de acero inoxidable, cuyas dimensiones y especificaciones del tipo de material se detallan en anexos.
Prensa hidráulica	Prensa hidráulica del tipo botella con manómetro incorporado, corrida de 0-2 000 Psi, aproximación de 25 Psi.

Mezcla 2	Dosificaciones de cemento establecidas (Wc%): 0,5,10,15,20% ; Humedad: 12,71% ; y Pc : 0MPa
Balanza digital	Capacidad de 2 kg, con error de 0.1 g.
Termohigrómetro digital	De la marca RadioShack modelo 630034, error: +-0,3 °C, +-2 %hr
Tamiz	De abertura cuadrada de 3.35 mm equivalente a malla N ^o 6.
Jarra medidora	Capacidad de 0,5 y 1 L.
Herramientas varias	Balde, espátula, badilejo, regla metálica, wincha.

Esta unidad, representa y es equivalente a la serie de adobes compactados con 0% cemento, se fabricó con la finalidad de tener una muestra cilíndrica, debido a que así lo requería la prueba experimental de evaluación de difusividad térmica.

Se hicieron unidades a diferentes presiones de compactación, equivalentes a la presión aplicada en los adobes compactados.

Se usaron 2 prensas de compactación, la primera para hacer los adobes y la segunda para hacer las probetas

Preparación de la tierra: Como ya se mencionó esta etapa es la misma para todas las unidades.

Preparación de la mezcla: La mezcla se prepara igual a la que se hizo para los adobes compactados, con un peso de mezcla calculado para obtener una probeta de longitud aproximada de 10 cm y el mismo porcentaje en peso de agua de 12,7% por ser la unidad compactada, se mezcla uniformemente.

Compactado: el compactado se realiza usando un molde cilíndrico de compactación, donde previamente se arma, colocando primero el pistón inferior como base y ayudándose de un par de tacos sobre los cuales se asienta el cilindro, se agrega la mezcla por capas y con la ayuda de una varilla delgada se homogeniza a fin de evitar vacíos, luego se va completando hasta terminar el llenado de la masa húmeda, seguido esto se coloca el pistón superior y se lleva todo el conjunto a la Prensa de compactación, donde se realiza el compactado a las Presiones fijadas, las cuales son equivalentes a las presiones en las que se fabricaron los adobes compactados, se ejecuta la compactación y llegado a la Presión deseada, esta se mantiene durante 5 minutos hasta que termine el armado de la mezcla en el interior del cilindro.

Desmolde: el desmoldado es instantáneo, se libera la válvula de ingreso de aire de la prensa y se suelta el pistón que ejerce la presión, con la ayuda de anillos metálicos se

retira la probeta con cuidado de que no se fracture, se talla y pesa, y se la ubica sobre una superficie plana. La masa húmeda agregada al cilindro de compactación es de aproximadamente 232 a 236 g, con una densidad inicial húmeda después del compactado de 1,8 a 2,2 g/cm³ para todas las probetas.

Secado: el secado toma un tiempo similar que en el caso de adobes compactados de aproximadamente 10 a 21 días o hasta que se mantenga constante su peso en el tiempo. En el caso de esta configuración, cilíndrica y compactada, se hizo un registro diario de pesos, el cual tomó un tiempo de aproximado de 10 días de secado, también se midió la temperatura y humedad para registrar los parámetros a condiciones ambientales de secado. Una vez secado las probetas compactadas están listas para la medición experimental de la Difusividad.

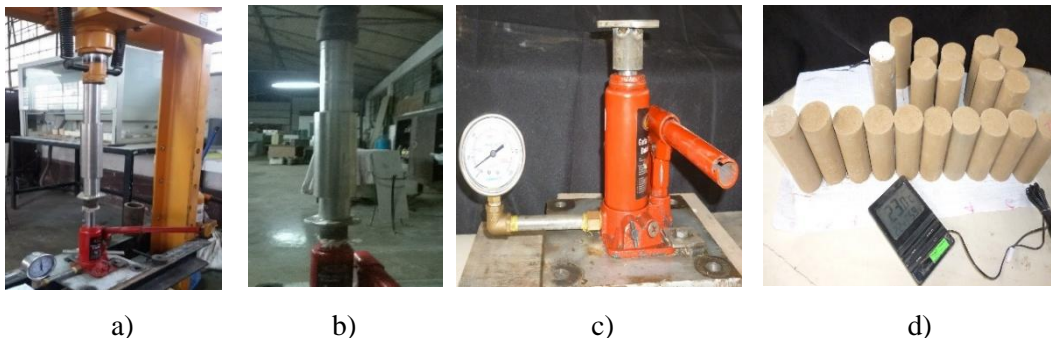


Figura 31. (a) Compactado de la mezcla, (b) cilindro de compactación, (c) prensa complementaria para la compactación de probetas, (d) probetas secas a un 59% de humedad relativa.

Evaluación térmica con el Sistema de medición de Difusividad.

A continuación, se muestran los equipos e instrumentación empleada en laboratorio para medir la Difusividad térmica de probetas de adobe compactado:

- *Operational power supply kepc*: marca KEPCO, modelo BOP 50-8ML, voltaje máximo de 50V y corriente máxima de 8A. Esta fuente es programable por computadora.
- *Generador de Funciones*: marca SINGLET modelo SDG1020, cuenta con 2 canales de salida independientes, uno se conecta al Transductor Electromecánico y el otro se conecta al Amplificador Lock-In, como señal de referencia ambas salidas tienen una señal de la misma frecuencia, estas señales de salidas son programadas a través de una pantalla display con variedad de funciones.

- *Thermometer HH66R*: es digital portátil de doble entrada. Su teclado numérico, ofrece una amplia gama de funciones. El HH66R trae consigo un cable RS232 y un software compatible con Windows para descargar datos a una PC. La configuración de tiempo de transmisión mínima es de 1 segundo y la máxima es de 59 minutos, 59 segundos.
- *Termopar*: Es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado «punto caliente» o «unión caliente» o de «medida» y el otro llamado «punto frío» o «unión fría» o de «referencia» (efecto Seebeck).
- *Computador*: debe ser compatible con Windows, sirve para poder descargar los datos a través del cable RS232 y medir las temperaturas en tiempo real. El software utilizado es el Temp Monitor.

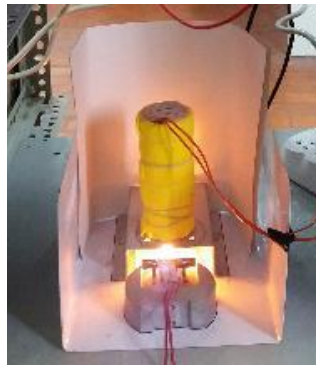


Figura 32. Vista del sistema de Medición de difusividad térmica de probeta de adobes compactados.

Preparación de muestras.

- Se fabricó diecisiete probetas de adobe de geometría cilíndrica de 35mm diámetro y 105 mm de largo, cuya relación de Diámetro: Largo = 1:3.
- Se le hizo dos agujeros de 0.012m de diámetro, ubicados a 1 cm y 3 cm de la base de manera tal que tenga una profundidad de 17,5mm o se encuentre en el eje de simetría de la probeta.

TABLA 21. Parámetros de diseño usados en la medición de Difusividad.

Parámetros de Diseño		Valores
		8 Vpp
Generador de funciones	Onda senoidal	1.65 mHz
Amplificador Kepco	Factor amplificador 5X	Voltaje de salida -40 V a +40 V Corriente de salida -0.8 A hasta +0.8 A.
Fuente de calor	Lámpara de tungsteno	De alta potencia (500 W , 240 V)

Montaje

- Consta de un soporte para la lámpara, el cual contiene debajo de ésta una lámina de aluminio reflejante, y sobre la lámpara un soporte metálico cuya distancia de separación entre superficies es 1 cm.
- Sobre este soporte metálico ira montado el material a estudiar.(véase en anexos)

Procedimiento de medición

- Se conectan las dos termopares tipo K en el Thermometer digital y se agrega pasta térmica en los puntos de contacto de cada termopar.
- Se introducen los termopares en cada agujero, de manera tal que ingresen hasta el centro de su eje radial, ubicándose en los puntos T1 y T2 respectivamente.
- Se cubre la muestra con un material aislante, en este caso lana de vidrio y franela aislante virutex para evitar pérdidas de calor.
- Se coloca pasta térmica en la base la probeta y se puso en contacto con el soporte metálico.
- Se enciende el generador de funciones para un periodo de 1200 segundos y amplitud 9Vpp. Se enciende la fuente de poder y el Thermometer Omega H66R en modo RS232 para la activación de transferencia de datos.
- La adquisición de data es a través del software Temp Monitor que almacena las lecturas en la computadora. Se guardó los datos en un archivo de texto.
- Se tomaron mediciones entre 4 a 6 horas por muestra.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 RESULTADOS DEL PROCESO DE SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA TIERRA

Los resultados a los distintos ensayos que se realizaron a las tres muestras de suelo a fin de caracterizarlas son los siguientes.

4.1.1. RESULTADOS DE LOS MÉTODOS DE CAMPO

4.1.1.1. Prueba de Decantación de partículas

En la tabla siguiente se muestra los resultados de esta prueba:

Tabla 22. Porcentaje de los agregados presentes en las muestras de tierra.

Tipo de tierra	Parámetros (%)	
	Arenas	Limo y Arcillas
M1-Chorrillos	65	35
M2-Huachipa	40	60
M3-Manchay	70	30



a)



b)

Figura 33. Vista de la botella después de 4 horas de haberse agitado, se observan las fases; orgánica, superior sobrenadante, e inorgánica: finos presentes en la parte inferior de la botella para la (a) muestra2 Huachipa y (b) muestra 3-Chorrillos.

Se observa que la distribución de los componentes del suelo es continua, los estratos no son muy marcados; se puede visualizar 2 fases, además de reconocer de manera tenue los estratos diferenciables que corresponde a la sección fina (arena finas, limos y arcillas); esto en cuanto al tamaño de grano, puesto que al ser una muestra de suelo, secada y tamizada, el tamaño de grano es semejante al de un fino.

La prueba permite aproximar el porcentaje de finos, pero no determina con precisión la cantidad de arcillas y limos, se busca este valor a fin de compararlo con la norma E-0.80.

Las 3 muestras de tierra, en general clasifican como agregado fino, no hay presencia de grava y piedra (agregados gruesos). Se observa que las muestras 1 y 3 tienen mayor porcentaje de arena que de material fino (limo y arcillas). La prueba también permitió visualizar el contenido orgánico de la muestra, esta se observa en la superficie sobrenadante.

4.1.1.2. Prueba de Contracción (prueba de la caja)

En la tabla siguiente se muestra los resultados de esta prueba:

Tabla 23. Valores de Contracción Lineal.

Tipo de tierra	Contracción (cm)	Longitud inicial (cm)	Porcentaje (%)
Muestra1-Chorrillos	0.5	50	1.0
Muestra2-Huachipa	1.95	50	3.9
Muestra3-Manchay	0.7	50	1.4



a)



b)

Figura 34. Vista del encogimiento o retracción lineal de la muestra de suelo en la caja. De izquierda a derecha (a) muestra 2-Huachipa, (b) muestra 3- Manchay.

Las muestras 1 y 3 presentaron contracción muy baja, a diferencia de la muestra 2, la cual presentó una contracción media, la humedad disminuye desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción.

Si los valores de retracción lineal no oscilan entre el intervalo 0,3- 3% sugerido por la norma UNE 4110, la tierra tendría que ser estabilizada, para el ejemplo de la muestra 2-Huachipa, el valor de retracción lineal está fuera del rango sugerido por norma, se le puede hacer la estabilización homogénea, agregando tierras más arenosas o usando otros estabilizantes como el cemento, cal o asfalto; se determina con el “cuadro de zonas preferenciales de Estabilización; en función de la Plasticidad”.

4.1.1.3. Prueba de la cintilla

En la tabla siguiente se muestra los resultados de esta prueba:

Tabla 24. Valores de Longitud de fragmento roto en prueba de la cintilla.

Tipo de tierra en estado plástico	Longitud inicial (cm)	Longitud del fragmento roto(cm)
Muestra 1 (Chorrillos)	11.5	6.7
	10.5	6.5
Muestra 2 (Huachipa)	18	10.5
	17	11.1
Muestra 3 (Manchay)	11.7	6.5
	10.8	6.5

Se observa que los fragmentos rotos correspondientes para cada muestra de tierra no tienen similitud de tamaño entre sí, el fragmento de longitud más pequeña presenta déficit de arcillas pero presenta arena, estos corresponden a las muestras de tierra 1 y 3, además presentan un comportamiento ligante, el tamaño de corte oscila entre 6 a 7 cm de longitud. La muestra 2 tiene un tamaño de fragmento promedio 10.8 cm, lo cual refiere a que es una muestra de suelo equilibrado, del tipo areno-arcillosa.

4.1.1.4. Prueba de impacto de la bola (ball dropping test)

El test de la bola húmeda, dio como resultados:

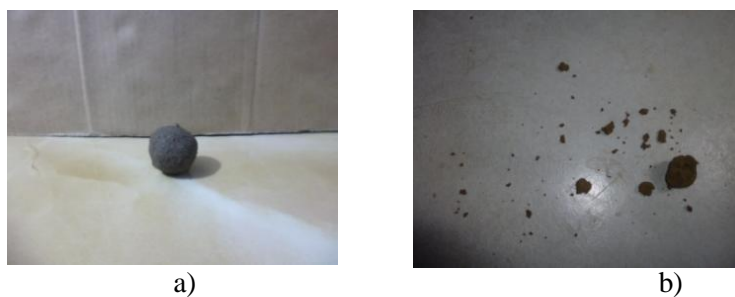


Figura 35. De izquierda a derecha (a) Bola de tierra armada (b) bola desintegrada después del impacto.

Muestra 1; la bola húmeda después del impacto, se desarma en muchos fragmentos de tamaño mediano, presenta más arenas que finos.

Muestra 2; la bola húmeda al impactar, se desintegra en porciones grandes, la muestra de tierra presenta contenido equilibrado de material granular y de finos, el material es apropiado y puede ser utilizado en la fabricación de adobe común y adobe compactado.

Muestra 3; la muestra se desarma en porciones pequeñas, presenta mayor contenido de arenas que de finos.

4.1.1.5. Prueba de solidez (prueba de resistencia seca)

La prueba desarrollada se puede visualizar en las siguientes imágenes:



Figura 36. Prueba de Resistencia seca. se observa las bolas de tierra después del secado y la resistencia a romperse.

Desarrollado la prueba se pudo constatar: transcurrido el tiempo de secado, ninguna de las bolitas presentó fractura al momento de presionarlas, por el contrario se evidenció la “buena resistencia seca” indicativo de una presencia adecuada de arcillas.

Tabla 25. Cuadro resumen de las pruebas de campo.

Tipo de ensayo	Parámetros	Valores (%)	Resultados.
Prueba de Decantación de partículas	Materia orgánica Para todas las muestras	0,1%	Se encuentra dentro de los valores aceptados
	Grava M1-Chorrillos	3%	% Grava menor según norma NTE.080
	M2- Huachipa	----	
	M3- Manchay	4%	
	M1 : Arena y finos (arcilla y limo)	65% y 35%	% Valor de arenas dentro del rango según NTE.080, % de arcillas no hay exactitud.
M2: Arena y finos (arcilla y limo)	40% y 60%	% Valor de arenas ligeramente menor según NTE.080, % de arcillas no hay exactitud.	
M3: Arena y finos(Arcilla y Limo)	70% y 30%	% Valor de arenas dentro del rango según norma NTE.080, % de arcillas no hay exactitud	
Prueba de Contracción (prueba de la caja)	Retracción lineal con respecto a su largo Tierra 2 – Huachipa	1,95 cm o 3,9 %	Valor superior según norma UNE 41410. Requiere algún tipo de estabilizado: granular , físico o químico
	Tierra 1 – Chorrillos	0,5 cm o 1 %	Valor cercano a límite inferior pero dentro del rango según UNE 41410
	Tierra 3 – Manchay	0,7 cm o 1.4 %	
Prueba de la cintilla	Longitud de fragmento roto. Tierra 2 Huachipa	10,8 cm	Suelo equilibrado areno-arcilloso. Plasticidad media.
	Tierra 1 – Chorrillos.	6,6 cm	Suelo arenoso con poco contenido des finos. Plasticidad baja.
	Tierra 3 – Manchay.	6,5 cm	
Prueba de impacto de la bola (ball dropping test)	Después del impacto se observa el tamaño y cantidad de fragmentos.	fragmentos	Buen contenido granular y de arcillas. Composición y consistencia dentro del

	Tierra 1- Huachipa	4	rango adecuado para la fabricación de adobe común o compactado
	Tierra 1- Chorrillos	7	Presenta menor contenido de finos ya que no presenta capacidad aglutinante
	Tierra 3- Manchay	9	
Prueba de solidez (prueba de resistencia seca)	Resistencia seca a la presión : Tierras 1, 2 y 3	No presenta fracturas	Buena resistencia seca, contenido equilibrado de arcillas, puede ser usada para la fabricación de adobes.

4.1.2. RESULTADOS DE LOS MÉTODOS TACTOVISUALES

- En cuanto a la prueba de observación de color:

Muestra 1-Chorrillos: la coloración de la tierra en estado seco distingue coloración gris claro y sin brillo lo cual demuestra presencia de limos y arenas.

Muestra 2-Huachipa: la coloración de la tierra en estado seco distingue coloración gris claro y brillante que denotan un suelo de tipo inorgánico y con presencia de limo (gris) y arcillas (brillante).

Muestra 3-Manchay: coloración gris claro, mate.
- En la prueba de brillantez; se puede observar que la bola en su estado plástico, después de haber sido cortada:

Muestra 2: presenta un color brillante con partículas de color doradas, lo que denota la presencia de arcillas.

Muestras 1 y 3: no presentan brillo de partículas.
- En la prueba de olfativa; se pudo percibir que las muestras de suelo son inodoras, no presenta el olor característico a rancio propio del material orgánico, por tanto las tres muestras de suelo, son de material inorgánico.
- La prueba dental:

Muestra 2: presento un ligero rechinar lo cual identifico un contenido de arenas y limos, se percibe una consistencia suave y lodosa debido a la presencia de arcillas.

Muestras 1 y 3: presentaron un rechinado agudo.
- En la prueba del lavado de manos:

Muestra 1 y 3: presentan una consistencia pegajosa leve fácil de retirar con agua, denota la presencia de limo, también se percibe las partículas al frotarse, lo cual es indicativo de las arenas,

Muestra 2: sensación friccional, consistencia pegajosa leve y presenta contenido medio de arcillas.

Tabla 26. Cuadro resumen de resultados de las pruebas Tacto visuales.

Tipo de ensayo	Parámetros principales.	Valores.	Resultados.
Prueba visual	Observación del color del suelo.	Color Gris claro y brillante. Tierra 2- Huachipa	Suelo de tipo inorgánico debido a colores claros. El color gris claro, indica la presencia de limo así también la posiblemente presencia de carbonatos de calcio. Presencia de arcillas (brillantez).
		Color Gris claro, opaco sin brillo, tonos mate Tierra 1- Chorrillos	Suelo tipo inorgánico, con presencia de limo(gris claro) y arenas(sin brillo)
		Color Gris claro, opaco sin brillo. Tierra 3- Manchay	
Prueba de brillantez	Presencia de brillo en sus partículas.	Partículas de color dorado y brillante. Tierra 2- Huachipa	Denota presencia de arcillas
		Existencia de un ligero brillo. Tierra 1- Chorrillos	Poca o casi nula existencia de arcillas. Tendencia a ser un suelo de tipo areno-limoso
		No se observa partículas doradas. Tierra 3- Manchay	
Prueba olfativa	Presencia de olor del suelo	Es inodoro Tierra 2- Huachipa	Denota que es un suelo inorgánico
		No presenta olor Tierra 1- Chorrillos	
		No presenta olor Tierra 3- Manchay	
Prueba dental	Rechinido dental o fricción entre los dientes	Ligero rechinir, Consistencia suave. Tierra 2- Huachipa	Contenido de arenas y limos. La consistencia suave y lodosa se debe a la presencia de arcillas
		Rechinido agudo, de consistencia granular variable. Tierra 1- Chorrillos Tierra 3- Manchay	Suelo mayoritariamente granular arenoso- limoso
Prueba de lavado de manos	Prueba táctil, consistencia o fricción del suelo.	Consistencia pegajosa leve. Sensación friccionante, Ligera huella en manos después de lavado. Tierra 2 - Huachipa	Presencia de limos, Presencia de arenas, Contenido medio de arcillas.
		Sensación friccionante, consistencia pegajosa leve. Tierra 1- Chorrillos Tierra 3- Manchay	Suelo predominantemente arenoso Y con contenido de limos

4.1.3. RESULTADOS DE LOS MÉTODOS DE LABORATORIO

4.1.3.1. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

En la tabla siguiente se muestra los resultados:

Tabla 27. Resultados del ensayo de contenido de humedad de un suelo.

	Muestra 1 -Chorrillos	Muestra 2- Huachipa		Muestra 3- Manchay
Tara	184.4	318.3	254.3	215.7
Suelo Húmedo + Tara	684.4	618.3	554.3	715.7
Suelo Seco + Tara	665.9	599	534.4	701.7
Agua Contenido	18.50	19.30	19.90	14.00
Suelo Seco	481.50	280.70	280.0	486.00
Humedad	3.84	6.88	7.10	2.88
Contenido Humedad	3.84 %	6.95%		2.88 %

Los resultados de las tres muestras son muy distintos, la muestra 2- Huachipa, presenta mayor contenido de humedad, por tal motivo este ensayo fue repetido y se promediaron los resultados para que esta sea más cercano a la realidad.

- Se pudo visualizar en este ensayo que en lo más mínimo existe humedad, así la muestra inicial estaba expuesta a temperatura ambiente y aun llevándola al horno no se pudo retirar la totalidad del contenido de humedad.
- El porcentaje de humedad que presento la muestra 3 -Manchay es muy bajo 2.88%, y la muestra 1-Chorrillos con un 3.84% también resulta ser bajo, lo cual quiere decir que ambas muestras contienen poca arcilla, se podría decir que es un buen suelo de soporte de estructuras para construir sobre él, ya que los problemas hidráulicos serian casi nulos; pero no es buen suelo para ser usado como material de canteras para hacer adobes, a menos que se dé la salvedad de hacer la estabilización de suelos.
- En este ensayo de laboratorio, se ve la importancia de saber el contenido de humedad, ya que esto determina cuan absorbente puede ser un agregado y que tanto espacio vacío tiene (poros). Cualquier cantidad de agua que se encuentre en la superficie de los agregados contribuirá a aumentar el agua de la mezcla y ocupará un volumen más del de las partículas del agregado.

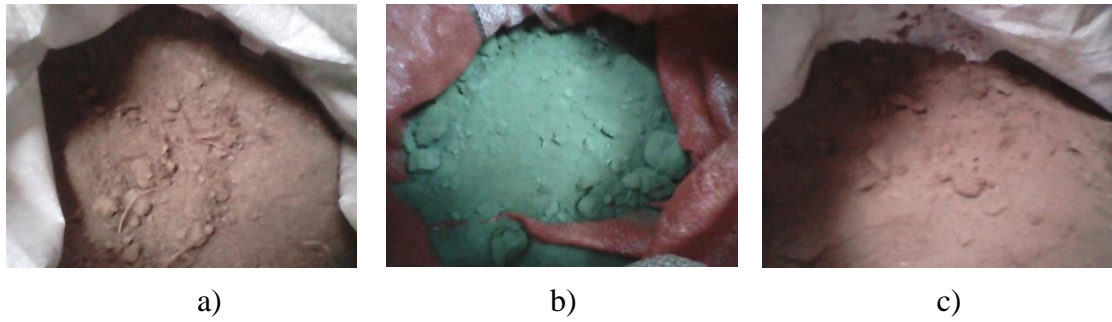


Figura 37. De izquierda a derecha: (a) tierra1-chorrillos, presenta contenido de paja o gravillas, no presenta brillo (b) tierra2-Huachipa, se observa grumos de mayor tamaño y brillo debido a la existencia mayoritaria de arcillas, no presenta pajillas (c) tierra3- Manchay, se observa una coloración clara y sin brillo debido a la predominancia de arenas y limo, no presenta pajilla.

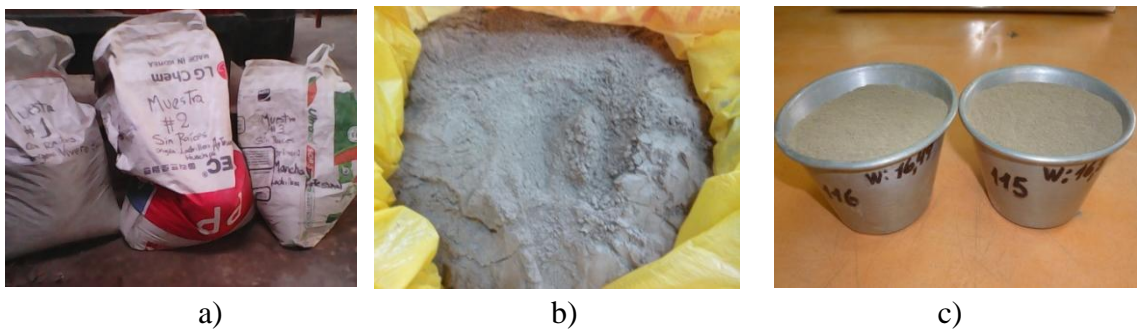


Figura 38. De izquierda derecha: (a) Muestras de tierra tamizadas y guardadas herméticamente, (b) muestra de suelo tamizada, (c) muestra de suelo en recipientes que van al horno de secado

4.1.3.2. DETERMINACIÓN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS.

4.1.3.2.1. DETERMINACION DEL LIMITE LÍQUIDO DE LOS SUELOS (L.L)

Los resultados se presentan en tablas y en forma gráfica usando una escala semilogarítmica, donde en el eje de las abscisas se presenta el N° de golpes y en el eje de ordenadas se ubica el contenido de humedad, siendo la intersección de cada par ordenado (N° golpes; W%) donde se ubican los puntos, para luego trazar una línea que los una, “la línea de fluidez” en la cual se debe hacer coincidir dicha línea con la línea vertical que corresponda a los 25 golpes, el valor en contenido de humedad hallado es el límite Líquido para dicha muestra de suelo.

Muestra 1- Chorrillos

Tabla 28. Resultados del ensayo del límite líquido de un suelo muestra –Chorrillos.

Muestra 1- Chorrillos	LIMITE LIQUIDO			
Prueba N°	1	2	3	4
N° de golpes	33	26	21	16
Tara + suelo húmedo (gr)	35.39	30.58	33.70	38.76
Tara + suelo seco (gr)	32.25	27.13	30.01	34.65
Peso del agua (gr)	3.1	3.5	3.7	4.1
Peso de tara (gr)	17.99	12.01	14.58	17.84
Peso suelo seco (gr)	14.3	15.1	15.4	16.8
Contenido de Humedad (%)	22.02	22.82	23.91	24.45

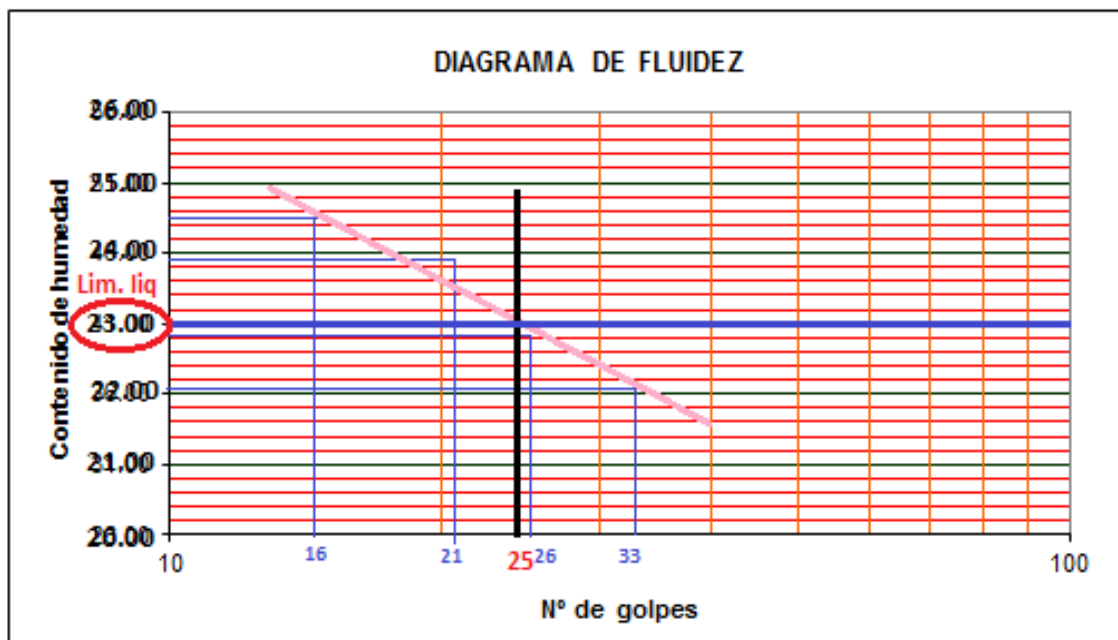


Figura 39. Diagrama de fluidez, muestra 1- Chorrillos.

Muestra 2- Huachipa

Tabla 29. Resultados del ensayo del límite líquido de un suelo muestra 2- Huachipa.

Muestra 2- Huachipa	LIMITE LIQUIDO			
	1	2	3	4
Prueba N°				
N° de golpes	32	26	21	15
Tara + suelo húmedo (gr)	28.64	32.83	32.34	30.55
Tara + suelo seco (gr)	25.11	28.60	27.63	26.72
Peso del agua (gr)	3.5	4.2	4.7	3.8
Peso de tara (gr)	14.34	15.93	13.90	15.89
Peso suelo seco (gr)	10.8	12.7	13.7	10.8
Contenido de Humedad (%)	32.78	33.39	34.30	35.36

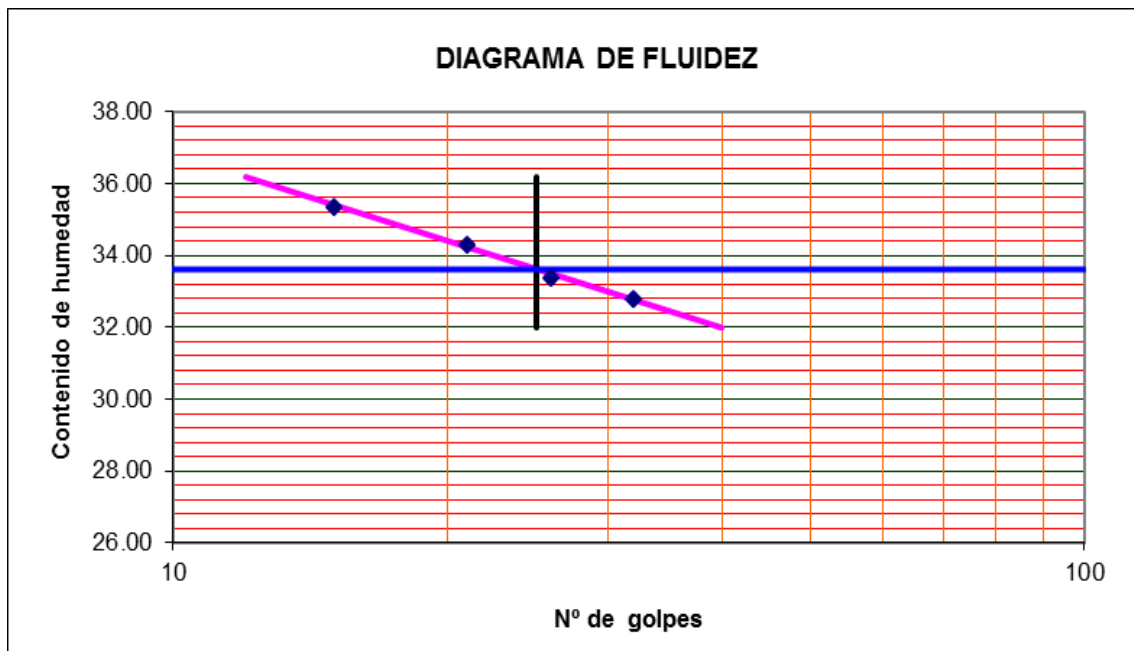


Figura 40. Diagrama de fluidez, muestra 2- Huachipa.

Muestra 3- Manchay

Tabla 30. Resultados del ensayo del límite líquido de un suelo muestra 3- Manchay.

Muestra 3- Manchay	LIMITE LIQUIDO			
Prueba N°	1	2	3	4
N° de golpes	33	26	21	16
Tara + suelo húmedo (gr)	25.10	24.60	26.80	25.90
Tara + suelo seco (gr)	23.00	22.30	24.40	23.20
Peso del agua (gr)	2.1	2.3	2.4	2.7
Peso de tara (gr)	15.60	14.50	16.40	14.60
Peso suelo seco (gr)	7.4	7.8	8.0	8.6
Contenido de Humedad (%)	28.38	29.49	30.00	31.40

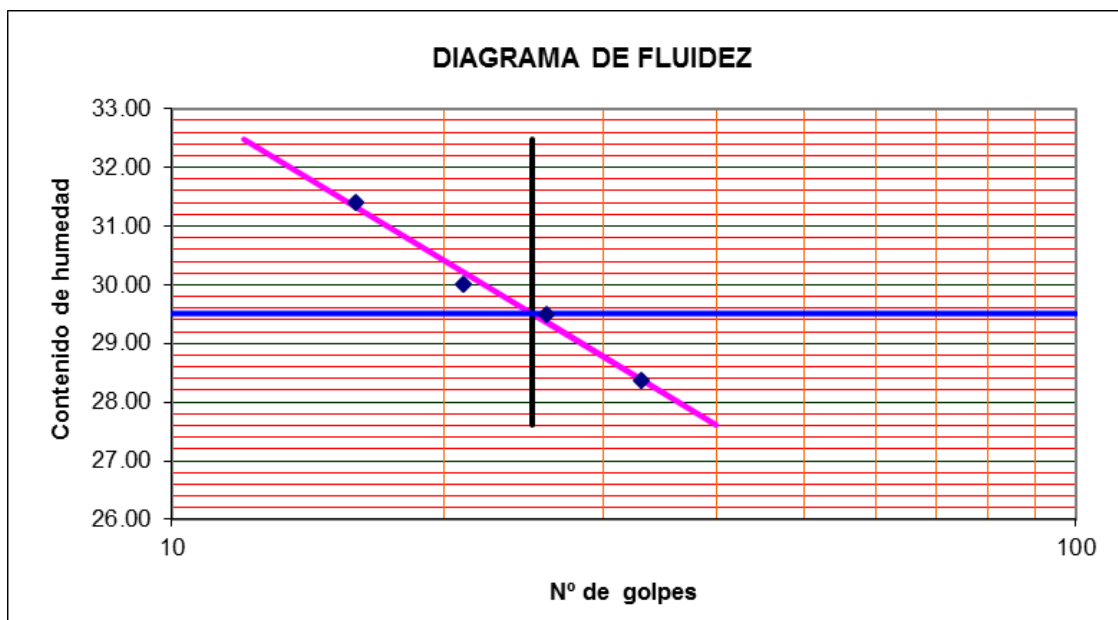


Figura 41. Diagrama de fluidez, muestra 3- Manchay.

De acuerdo a las gráficas presentadas:

- Al realizar la línea de fluidez, se logra observar el valor del contenido de humedad que corresponde a los 25 golpes,
- Para cada una de las 3 muestras de suelo, se puede hallar el valor del límite líquido del suelo.

Tabla 31. Resultados del ensayo del límite líquido de suelos para las 3 muestras de suelo.

	Muestra 1-Chorrillos	Muestra 2- Huachipa	Muestra 3- Manchay
Límite líquido	23%	33.6%	29.5%

El valor obtenido del límite líquido de la muestra 2 es mayor, denotando que tiene mayor contenido de finos (propiamente arcillas) que las muestras 1 y 3. Este valor junto con los valores de límite plástico, contenido de humedad natural del suelo, y granulometría de suelos, expresan su consistencia relativa y permiten realizar la clasificación de los tipos de suelo, determinando el comportamiento ingenieril que demostrará el suelo en estudio.

4.1.3.2.2. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO DE LOS SUELOS (L.P) E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)

En la tabla siguiente se muestra los resultados:

Tabla 32. Resultados del ensayo del límite plástico de suelos (muestra - Chorrillos).

Muestra 1- Chorrillos	LÍMITE PLÁSTICO	
Prueba N°	1	2
Tara + suelo húmedo (gr)	27,15	23,93
Tara + suelo seco (gr)	25,47	22,55
Peso del agua (gr)	1,7	1.4
Peso de tara (gr)	15,60	14,56
Peso suelo seco (gr)	9,9	8.0
Contenido de Humedad (%)	17,02	17,27
Contenido de Humedad promedio (%)	17,15 %	

Tabla 33. Resultados del ensayo del límite plástico de un suelo muestra2- Huachipa.

Muestra 2- Huachipa	LÍMITE PLÁSTICO	
Prueba N°	1	2
Tara + suelo húmedo (gr)	26.64	23.62
Tara + suelo seco (gr)	25.16	22.15
Peso del agua (gr)	1.5	1.5
Peso de tara (gr)	18.16	15.13
Peso suelo seco (gr)	7.0	7.0
Contenido de Humedad (%)	21.14	20.94
Contenido de Humedad promedio (%)	21.04 %	

Tabla 34. Resultados del ensayo del límite plástico de un suelo muestra 3-Manchay.

Muestra 3- Manchay	LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2
Prueba N°	1	2
Tara + suelo húmedo (gr)	21.40	22.30
Tara + suelo seco (gr)	20.20	21.30
Peso del agua (gr)	1.2	1.0
Peso de tara (gr)	14.30	16.30
Peso suelo seco (gr)	5.9	5.0
Contenido de Humedad (%)	20.34	20.00
Contenido de Humedad promedio (%)	20.17 %	

ÍNDICE DE PLASTICIDAD

El índice de plasticidad es un coeficiente adimensional y se obtiene de la diferencia entre el límite líquido (LL) que se obtuvo en la prueba anterior y el límite plástico (LP)

Tabla 35. Resultados del Índice de plasticidad para las 3 muestras de suelo.

Parámetros	Muestra 1- Chorrillos	Muestra 2- Huachipa	Muestra 3- Manchay
Límite líquido % (LL)	23	33.6	29.5
Límite plástico % (LP)	17.15	21.04	20.17
Índice plástico (IP)	5.9	12.6	9.3

Se observa que las muestras de suelo 1 y 3, contienen arcilla, siendo este un agregado fino que les permite cierto grado de trabajabilidad, pero el porcentaje de estas con respecto a los limos es mucho menor, y no llega a un nivel plástico adecuado.

Las muestras de suelo 1 y 3 son suelos limosos, pues presenta color beige claro y cierto contenido de arcillas; la muestra 2 es de un tono brillante, presenta mayor trabajabilidad a nivel plástico, se forma con facilidad las barras; debido a la existencia mayoritaria de arcillas se explica y registra un mayor contenido de humedad que corresponde al valor del límite plástico, a mayor contenido de arcillas estas tienden a absorber mayor humedad. Se resalta que el mayor valor del IP lo tiene la muestra 2 denotando así que es un suelo a diferencia del resto con mayor contenido de finos.

4.1.3.3. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

Para el análisis granulométrico de suelo, se realiza un previo lavado de la muestra. Asimismo, del tamizado por el método mecánico. En la tabla siguiente se muestra los resultados:

Tabla 36. Pesos del suelo lavado, retenido y pasante para las 3 muestras de suelo.

	Muestra 1- Chorrillos	Muestra 2 -Huachipa	Muestra 3 -Manchay
Tara	210	205.08	208.1
Suelo seco + Tara	1042.9	751.08	708.1
“Suelo seco al horno”	832.9	546.20	500
Suelo lavado+ tara	807.1	381.48	568.4
Suelo lavado	597.10	176.40	360.30
Suelo pasante	235.8	369.80	139.7

Análisis realizado a la Muestra 2. El mismo proceso se debe realizarse a las muestras de suelo faltantes:

- Diferencia= 176,40 son los Retenidos en el tamiz N° 200; es decir, arenas.
- Diferencia= 369,80 son los finos que pasaron con el agua; es decir, limo y arcillas.

Valores de análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz N° 4 (4,76 mm) comprende arenas y finos.

- Cálculo del porcentaje de material que pasa por el tamiz N° 200 (0.074 mm) de la siguiente manera:

$$\% \text{ q pasa (N}^{\circ} 200) = \frac{\text{peso total} - \text{peso retn, tamiz N}^{\circ} 200}{\text{peso total}} \times 100$$

Porcentaje de Agregado fino que pasaron con el lavado: “limo + arcillas”

$$\frac{546.20 - 176,40}{546.20} \times 100 = 67.70\%$$

Porcentaje de Agregado grueso retenido en el lavado: “Arenas medias y arenas finas”

$$\frac{176,40}{546.20} \times 100 = 32,30\%$$

- Se calcula el porcentaje parcial retenido sobre cada tamiz de la siguiente manera

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{peso retnido en el tamiz}}{\text{peso total}} \times 100$$

- Se calcula el porcentaje retenido acumulado sobre cada tamiz de la siguiente manera
“Sumando sucesivamente los valores obtenidos en porcentaje parcial retenido”
- Se calcula el porcentaje acumulado que pasa de cada tamiz de la siguiente manera
% que pasa= 100% – (% parcial retenido)

Finalmente se anotan los pesos obtenidos por cada tamiz y se hace la tabla de distribución granulométrica, para luego obtener la curva granulométrica. El ejemplo anterior se hizo para la Muestra 2-Huachipa, luego se repite para las muestras de Chorrillos y Manchay. Los pesos obtenidos por cada tamiz para las muestras de suelo se reportan en las siguientes tablas de distribución granulométrica:

Tabla 37. Muestra 1- Chorrillos.

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	
3/4"	19.050	-	-	
1/2"	12.700	-	-	100.0
3/8"	9.525	1.3	1.3	98.7
1/4"	6.350	0.7	2.0	98.0
Nº4	4.760	0.6	2.6	97.4
Nº10	2.000	4.3	6.9	93.1
Nº20	0.840	13.9	20.8	79.2
Nº30	0.590	8.1	28.9	71.1
Nº40	0.426	8.1	37.0	63.0
Nº60	0.250	13.3	50.3	49.7
Nº100	0.149	11.2	61.6	38.4
Nº200	0.074	10.1	71.7	28.3
FONDO		28.3		

% Grava	:	2.6
% Arena	:	69.1
% Finos	:	28.3

TABLA 38. Muestra 2- Huachipa.

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	
3/4"	19.050	-	-	
1/2"	12.700	-	-	
3/8"	9.525	-	-	
1/4"	6.350	-	-	
Nº4	4.760	-	-	100.0
Nº10	2.000	0.1	0.1	99.9
Nº20	0.840	0.6	0.6	99.4
Nº30	0.590	1.0	1.6	98.4
Nº40	0.426	2.3	4.0	96.0
Nº60	0.250	6.7	10.7	89.3
Nº100	0.149	9.8	20.6	79.4
Nº200	0.074	11.7	32.3	67.7
FONDO		67.7		

% Grava :	----
% Arena :	32.3
% Finos :	67.7

Tabla 39. Muestra 3- Manchay.

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	76.200	-	-	
2"	50.300	-	-	
1 1/2"	38.100	-	-	
1"	25.400	-	-	
3/4"	19.050	-	-	
1/2"	12.700	-	-	
3/8"	9.525	-	-	100.0
1/4"	6.350	2.3	2.3	97.7
Nº4	4.760	0.8	3.1	96.9
Nº10	2.000	2.9	6.0	94.0
Nº20	0.840	8.3	14.3	85.7
Nº30	0.590	5.8	20.1	79.9
Nº40	0.426	6.8	26.9	73.1
Nº60	0.250	13.5	40.4	59.6
Nº100	0.149	15.7	56.1	43.9
Nº200	0.074	16.0	72.1	27.9
FONDO		27.9		

% Grava :	3.1
% Arena :	69.0
% Finos :	27.9

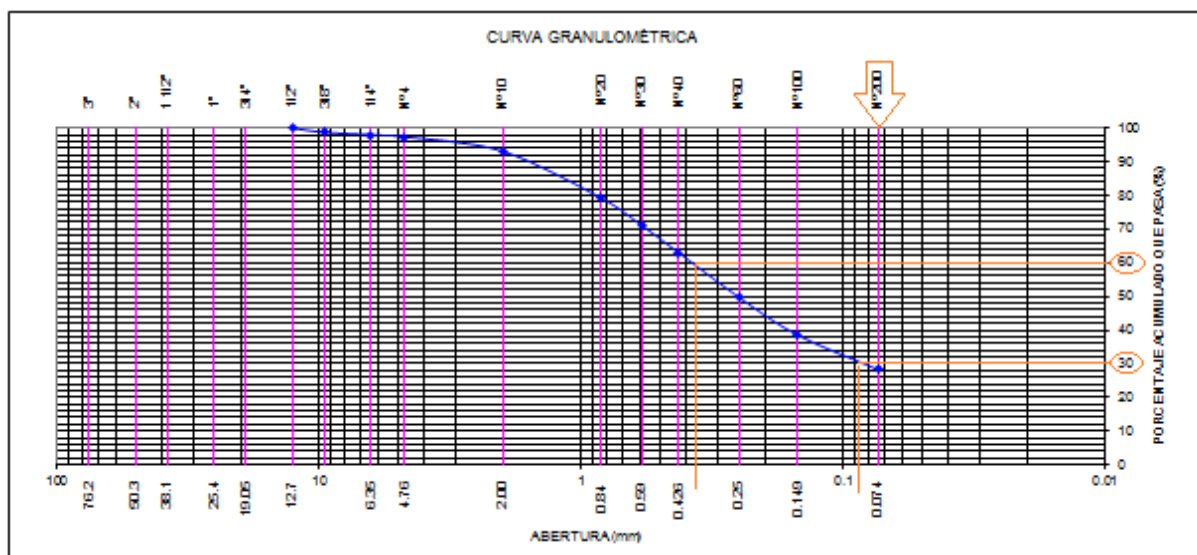


Figura 42. Curva granulométrica, muestra 1-Chorrillos.

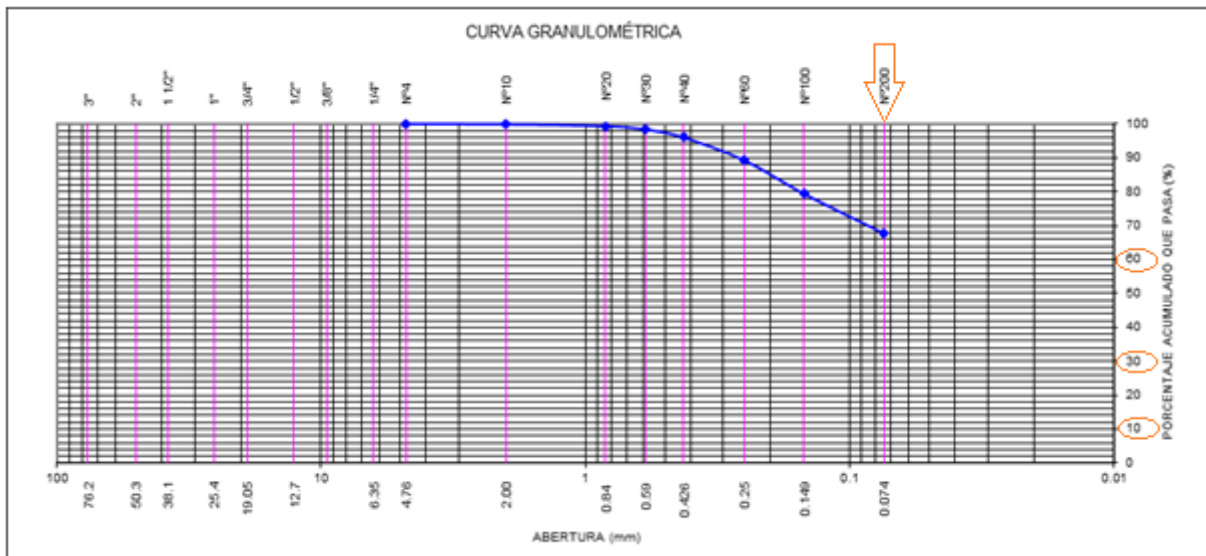


Figura 43. Curva granulométrica, muestra 2- Huachipa.

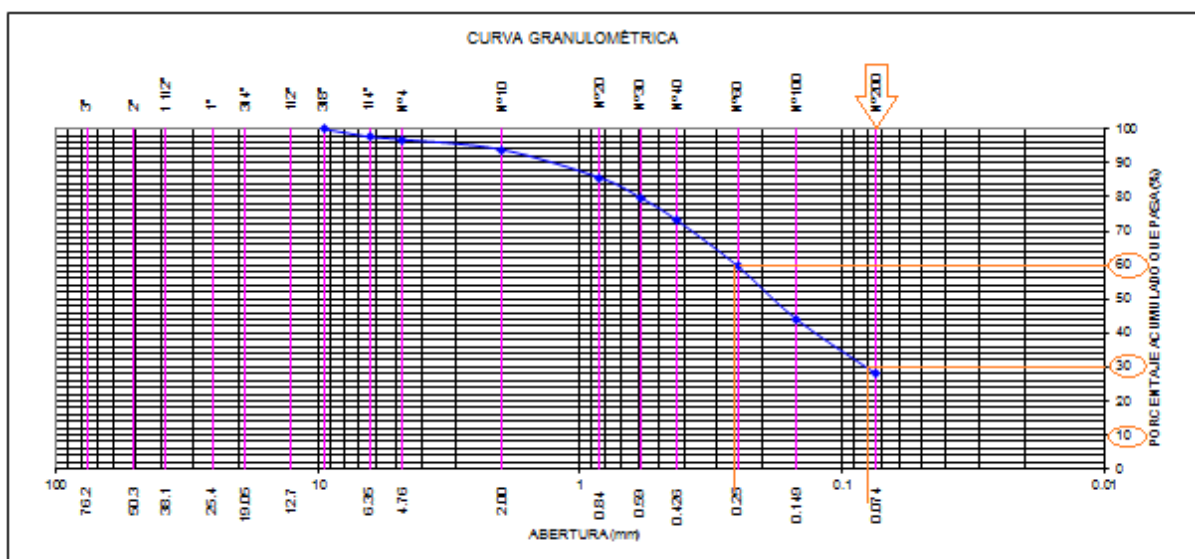


Figura 44. Curva granulométrica, muestra 3- Manchay.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se observan las curvas granulométricas correspondientes a las 3 muestras de suelo analizadas, se puede observar que todas se leen hasta la malla N° 200, ya que pasante de esta malla se encuentran los finos (limos y arcillas) los cuales pueden ser cuantificados según el método del Hidrómetro para así completar la curva granulométrica y por consecuencia obtener los diámetros efectivos faltantes.

Después de hacer el lavado y secado de las muestra iniciales de suelo 1, 2 y 3 respectivamente de 546,20; 832,90 y 500 g. Se obtienen los porcentajes para su agregado

grueso, agregado fino y el % del material pasante de la malla N° 200, correspondientes a la fracción fina (limo y arcillas). Esto se expresa en la *Tabla N°40*, donde se observa que las curvas pertenecientes al suelo de Chorrillos y de Manchay son parecidas en cuanto a su granulometría presentando mayor cantidad de arenas que finos. Para las tres muestras de suelo el porcentaje de finos varía entre 28 y 67%, valores que no son fiables para ser usado como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos, ya que cuando es mayor al 12% de suelo pasante, se hace necesario cuantificar el porcentaje exacto de limos y arcillas.

Tabla 40. Porcentajes de agregado grueso y fino para las 3 muestras de suelo.

	Muestra 1-Chorrillos	Muestra 2-Huachipa	Muestra 3 -Manchay
% Grava	2,6	----	3,1
% Arena	69,1	32,3	69,0
% Finos (pasante N° 200)	28,3	67,7	27,9

Al intersecar el porcentaje acumulado que pasa correspondiente al 10, 30 y 60%, se obtiene por interpolación los diámetros efectivos correspondientes a dichos porcentajes, como se observa en la *Tabla N°41*, las muestras de suelo 1 y 3 presentan los diámetros efectivos D30 y D60, sin embargo la muestra 2 no presenta ningún valor para los diámetros efectivos, la tabla se completa cuando también se complete la curva granulométrica para el agregado fino.

Tabla 41. Diámetros efectivos según curvas granulométricas para las 3 muestras de suelo.

Diámetros efectivos	Muestra 1- Chorrillos	Muestra 2 -Huachipa	Muestra 3 -Manchay
D10			
D30	0,0832		0,0810
D60	0,3774		0,2538

Para obtener los diámetros efectivos se necesita la curva en su totalidad y para determinar cuánto y en qué porcentaje de estos pasantes corresponden a limos y arcillas ya no sería por granulometría por tamices, sino Granulometría por sedimentación, llamado hidrometría.

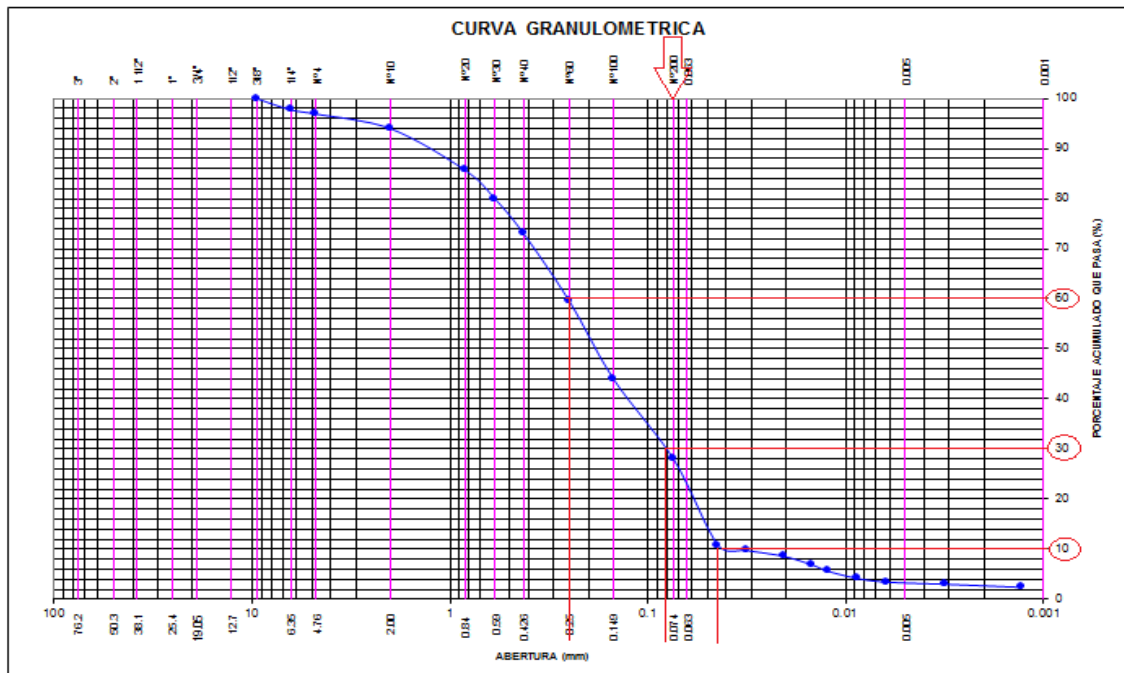


Figura 47. Curva granulométrica, muestra 3- Manchay.

Tablas de distribución granulométrica: Se contempla los valores en porcentajes obtenidos para la fracción fina, lo sombreado corresponde al porcentaje en arcillas, el restante corresponde a limos.

TABLA 42. M1-Chorrillos

Tamiz	Abertura (mm.)	% que pasa
3"	76.200	
2"	50.300	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	
1/2"	12.700	100.0
3/8"	9.525	98.7
1/4"	6.350	98.0
Nº4	4.760	97.4
Nº10	2.000	93.1
Nº20	0.840	79.2
Nº30	0.590	71.1
Nº40	0.426	63.0
Nº60	0.250	49.7
Nº100	0.149	38.4
Nº200	0.074	28.3
	0.044	11.05
	0.032	9.93
	0.020	8.86
	0.015	7.06
	0.012	5.77
	0.009	4.31
	0.006	3.58
	0.003	3.19
	0.001	2.68

TABLA 43. M2- Huachipa

Tamiz	Abertura (mm.)	% que pasa
3"	76.200	
2"	50.300	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	
1/2"	12.700	
3/8"	9.525	
1/4"	6.350	
Nº4	4.760	100.0
Nº10	2.000	99.9
Nº20	0.840	99.4
Nº30	0.590	98.4
Nº40	0.426	96.0
Nº60	0.250	89.3
Nº100	0.149	79.4
Nº200	0.074	67.7
	0.043	45.50
	0.031	41.00
	0.020	34.96
	0.015	30.60
	0.012	27.65
	0.009	25.55
	0.006	21.33
	0.003	15.99
	0.001	12.90

TABLA 44. M3- Manchay

Tamiz	Abertura (mm.)	% que pasa
3"	76.200	
2"	50.300	
1 1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.050	
1/2"	12.700	
3/8"	9.525	100.0
1/4"	6.350	97.7
Nº4	4.760	96.9
Nº10	2.000	94.0
Nº20	0.840	85.7
Nº30	0.590	79.9
Nº40	0.426	73.1
Nº60	0.250	59.6
Nº100	0.149	43.9
Nº200	0.074	27.9
	0.044	10.82
	0.032	9.76
	0.020	8.54
	0.015	6.82
	0.012	5.55
	0.009	4.16
	0.006	3.44
	0.003	3.00
	0.001	2.39

El resumen de la distribución granulométrica, por los métodos de tamizado y por hidrometría se expresa en la *Tabla Nº 45*, donde se detalla el contenido final de los agregados que presentan las 3 muestras de suelo. Se observa la similitud entre el suelo 1 y 3, Chorrillos y Manchay, en cuanto al porcentaje de sus componentes; se observa también, que la muestra 2-Huachipa tiene el porcentaje más alto de finos, exactamente mayor contenido de limos que de arcillas.

TABLA 45. Cuadro resumen de las pruebas granulométricas, para las 3 muestras de suelo.

		Muestra 1-Chorrillos	Muestra 2-Huachipa	Muestra 3 -Manchay
% Grava		2.6	----	3.1
% Arena		69.1	32.3	69.0
% Finos (pasante Nº 200)	Limos	25.1	51.7	24.9
	Arcillas	3.2	16.0	3.0

Teniendo la Curva granulométrica completa, se pudo hallar los Diámetros efectivos D10, D30 y D60 para las 3 muestras, los cuales se expresan en la siguiente tabla.

TABLA 46. Diámetros efectivos según curvas granulométricas para las tres muestras de suelo.

Diámetros efectivos	Muestra 1- Chorrillos	Muestra 2 -Huachipa	Muestra 3 -Manchay
D10	0.0046	0.0019	0.0047
D30	0.0832	0.0067	0.0810
D60	0.3774	0.0453	0.2538

Se puede observar en la *Tabla N^o 47*, los valores obtenidos para los coeficientes de Uniformidad y Curvatura en función de los diámetros efectivos hallados para las 3 muestras de tierra.

TABLA 47. Coeficientes de Uniformidad y Curvatura para las tres muestras de suelo.

Coeficientes	Muestra 1- Chorrillos	Muestra 2 -Huachipa	Muestra 3 -Manchay
Cu	82.514	24.013	54.382
Cc	4.007	0.530	5.537

INTERPRETACION DE RESULTADOS

Como se observan en las tablas de distribución granulométrica por Hidrometría, está sombreado el valor que considera el pasante de la abertura de 0.003 mm para el valor en contenido de arcillas ya que el fino considerado arcilla tiene un diámetro de 0.002 mm, lo demás por diferencia es limos.

Los valores obtenidos Cu y Cc, suelo mal graduado, el Cu <4,6>, para ser considerado bien graduado Cc <1, 3>; de lo contrario es un suelo mal graduado. Por tanto los resultados indican que las muestras presentadas pertenecen a suelos mal graduados, lo que quiere decir que existe una gradación uniforme de tamaños.

Estos resultados conjuntamente a los valores que ya se tienen de los ensayos de determinación de límites de consistencia, permitirán determinar la clasificación del tipo de suelo de las 3 muestras estudiadas.

4.1.3.5. Clasificación del suelo por el sistema SUCCS.

TABLA 48. Proceso de clasificación SUCCS Muestra 1- Chorrillos.

Clasificación SUCCS. Muestra 1-Chorrillos			Categoría y Grupo
% Grava		2.6	ARENA
% Arena		69.1	
% Finos (pasante N° 200)	Limos 25.1%	28.3%	Más del 50% es retenido en la malla N° 200
	Arcillas 3.2%		
Cu		82.514	No aplica a su gradación ya que más del 5% son finos
Cc		4.007	
Verificando % de finos		Posibles simbologías:	
<5%		SP	
>12%		SC o SM	
5% < % finos < 12%		SP-SC	GP-GC SP-SC
Trabajando con los limites		En la carta de plasticidad	
LL, LP, IP		LL	23
IP < 4 o debajo de la Línea A → (SM)			
IP > 7 y arriba de la Línea A → (SC)		IP	6
		Finalmente quedo:	
		SC	
		Arena arcillosa	

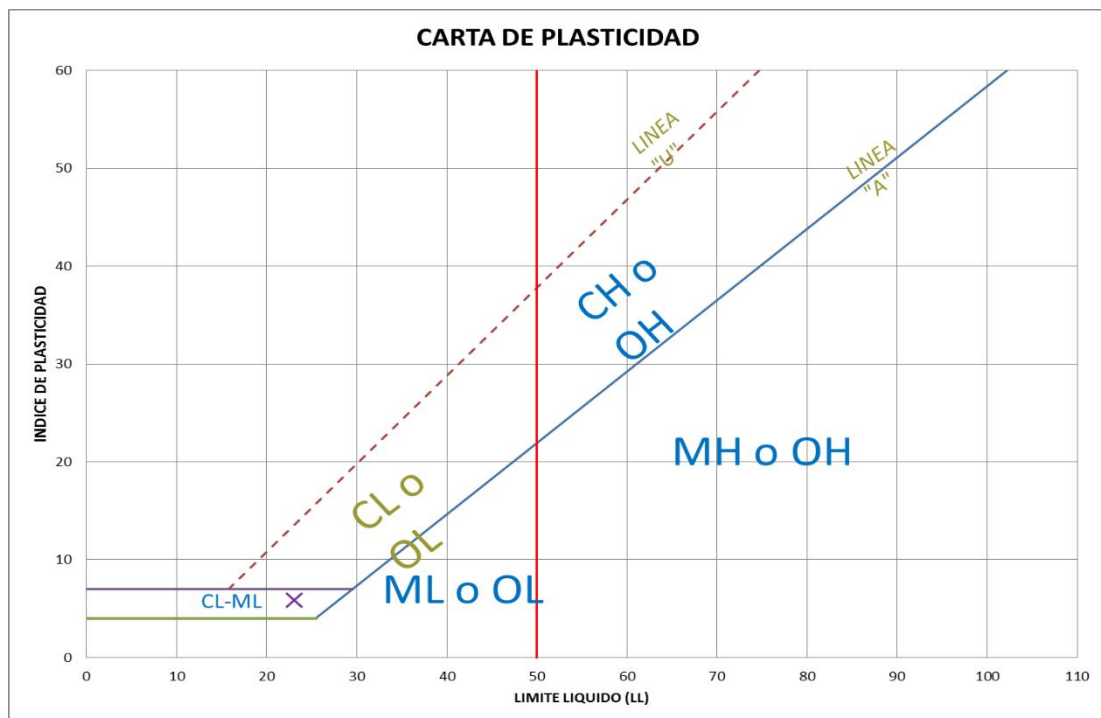


FIGURA 48. Carta de plasticidad, muestra 1-Chorrillos.

Para el caso de la muestra 1, de acuerdo a la *TABLA 48*, la muestra presenta mayor contenido de **Arenas** pero con agregado fino, según los valores del IP y LL, ubican en la carta de plasticidad según la línea “A”; puede determinar si es un **SC o un SM**, finalmente se observa la ubicación del aspa (X) que está por encima de la línea “A”, por tanto la Muestra 1-Chorrillos es un **SC**.

TABLA 49. Proceso de clasificación SUCS Muestra 2- Huachipa.

Clasificación SUCS. Muestra 2-Huachipa			Categoría y Grupo
% Grava		----	LIMO O ARCILLA El 50% o más pasa la malla N° 200
% Arena		32.3	
% Finos (pasante N° 200)	Limos 51.7%	67.7%	
	Arcillas 16.0%		
Cu		24.013	No aplica a su gradación ya que esos valores aplican a material granular
Cc		0.53	
Trabajando con los límites		Posibles simbologías:	
LL < 50%		Limo o arcillas inorgánicos de baja plasticidad	CL o ML Arcilla de baja plasticidad o Limo de baja plasticidad
LL > 50%		Limo o arcillas inorgánicos de alta plasticidad	
Trabajando con el Índice Plasticidad (IP)		En la carta de plasticidad	
LL, LP, IP		LL	34
IP > 7 y arriba de la Línea A → (CL)		IP	13
IP < 4 o debajo de la Línea A → (ML)			
		Finalmente quedo: CL Arcilla de baja plasticidad	

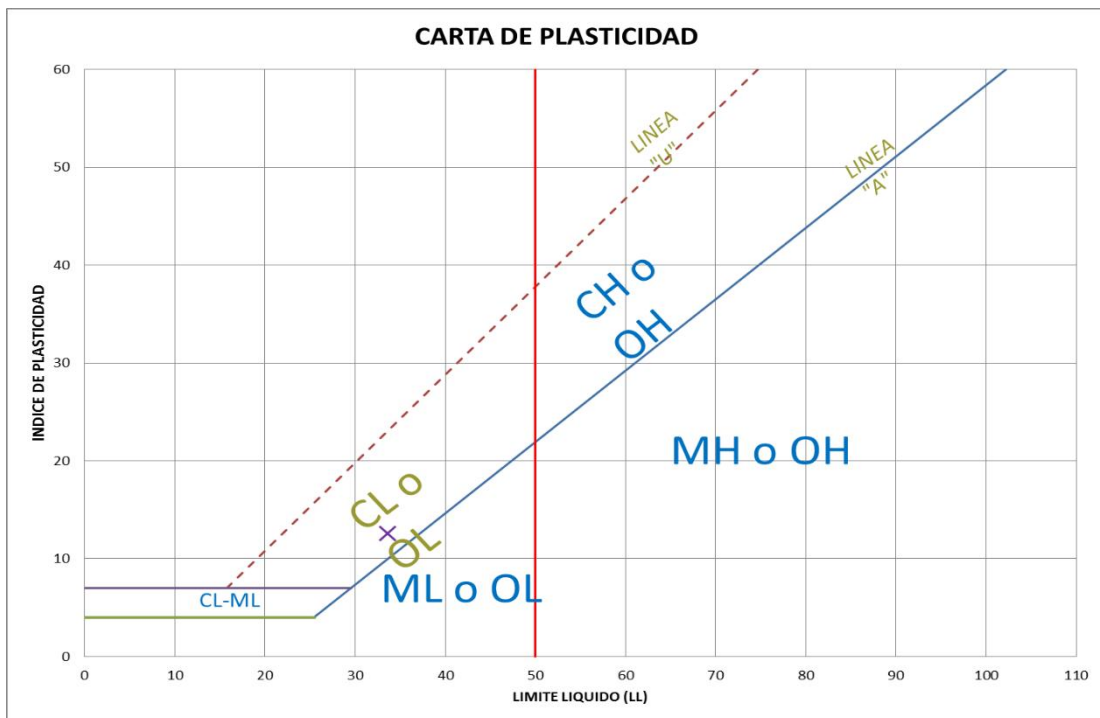


FIGURA 49. Carta de plasticidad, muestra 2- Huachipa.

Para el caso de la muestra 2, de acuerdo a la *TABLA 49*, la muestra presenta mayor contenido de **Finos**, luego se ubican los valores del IP y LL en la carta de plasticidad y según la línea "A" se podría determinar si es un **CL o un ML**, finalmente se observa la ubicación del aspa (X) que está por encima de la línea "A", por tanto la Muestra2-Huachipa es un **CL**.

TABLA 50. Proceso de clasificación SUCS Muestra 3- Manchay.

Clasificación SUCS. Muestra 3- Manchay			Categoría y Grupo
% Grava		3.1	ARENA
% Arena		69.0	
% Finos (pasante N° 200)	Limos 24.9%	27.9%	Más del 50% es retenido en la malla N° 200
	Arcillas 3%		
Cu		54.382	No aplica a su gradación ya que más del 5% son finos
Cc		5.537	
Verificando % de finos		Posibles simbologías:	
<5%		SP	
>12%		SC o SM	
5% < % finos < 12%		SP-SC	GP-GC
			SP-SC
Trabajando con los limites		En la carta de plasticidad	
LL, LP, IP		LL	29.5
IP < 4 o debajo de la Línea A → (SM)			
IP > 7 y arriba de la Línea A → (SC)		IP	9.3
		Finalmente quedo:	
		SC	
		Arena arcillosa	

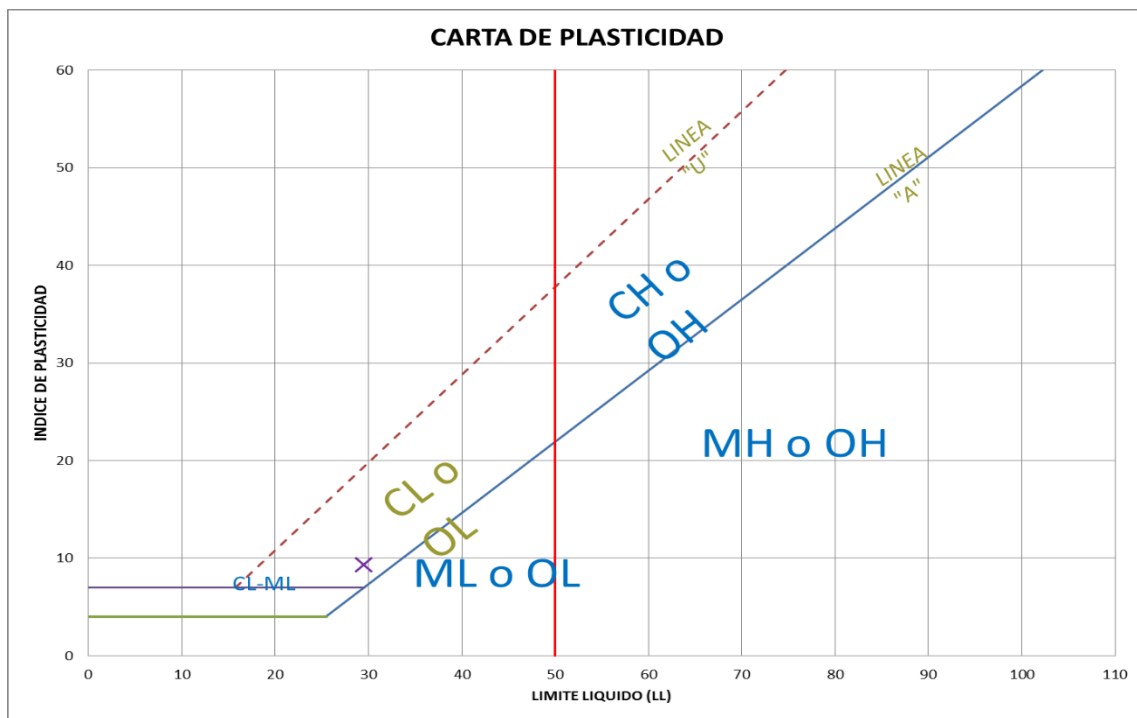


FIGURA 50. Carta de plasticidad, muestra 3-Manchay.

Para el caso de la muestra 3, de acuerdo a la *TABLA50*, la muestra presenta mayor contenido de Arenas pero con agregado fino, se usan los valores del IP y LL como datos de entrada para ubicarlos en la carta de plasticidad, si el punto ubicado, está arriba o debajo de la línea “A”, puede determinar si es un *SC* o un *SM* respectivamente, finalmente se observa la ubicación del aspa (X) que está por encima de la línea “A”, por tanto la Muestra3-Manchay es un *SC*.

INTERPRETACION DE RESULTADOS O DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los ensayos de laboratorio realizados, como el análisis granulométrico de suelos por tamizado, por hidrometría y la determinación de los límites de consistencia sirvieron para dar resultados en valores, que puedan ser usados para las clasificaciones SUCS y estos se detallan en las siguientes tablas para cada tipo de muestra de suelo.

TABLA 51. Características finales y Clasificación SUCS y AAHSTO Muestra 1- Chorrillos.

Muestra 1- Chorrillos			
Tipo de ensayo	Normatividad	Parámetros	Valores (%)
Humedad natural	ASTM D-2216, MTC E 108-2016	Contenido de humedad natural	3.84%
Granulometría por tamizado	ASTM D-422, MTC E 107-2016	Grava	2.6
		Arena	69.1
		Finos	28.3
Granulometría por Hidrometría	ASTM D-422. Método B; MTC E 109-2016	Limo	25.1
		Arcillas	3.2
		Coloides	0.00
Límites de consistencia	ASTM D-4318 MTC E 110-2016 MTC E 109-2016	Limite líquido	23
		Limite plástico	17.1
		Índice de plasticidad	5.9
Clasificación de suelos	Clasificación Unificada de Suelos (SUCS). ASTM D 2487	Suelo tipo SC	Arena Arcillosa
	Clasificación AASHTO, método M145. ASTM D3282	Suelo tipo A-2-4(0)	Material granular: Arenas. Suelo excelente para uso en subrasante.

TABLA 52. Características finales y Clasificación SUCS y AAHSTO Muestra 2- Huachipa.

Muestra 2- Huachipa			
Tipo de ensayo	Normatividad	Parámetros	Valores (%)
Humedad natural	ASTM D-2216, MTC E 108-2016	Contenido de humedad natural	6.95%
Granulometría por tamizado	ASTM D-422, MTC E 107-2016	Grava	----
		Arena	32.3
		Finos	67.7
Granulometría por Hidrometría	ASTM D-422. Método B; MTC E 109-2016	Limo	51.71
		Arcillas	15.99
		Coloides	0.00
Límites de consistencia	ASTM D-4318 MTC E 110-2016 MTC E 109-2016	Limite líquido	33.6
		Limite plástico	21
		Índice de plasticidad	12.6
Clasificación de suelos	Clasificación Unificada de Suelos (SUCS). ASTM D 2487	Suelo tipo CL	Arcilla de baja plasticidad
	Clasificación AASHTO método M145. ASTM D3282	Suelo tipo A-6(7)	Suelo arcilloso. Suelo regular para uso en subrasante.

TABLA 53. Características finales y Clasificación SUCS y AASHTO Muestra 3- Manchay.

Muestra3- Manchay			
Tipo de ensayo	Normatividad	Parámetros	Valores (%)
Humedad natural	ASTM D-2216, MTC E 108-2016	Contenido de humedad natural	2.88%
Granulometría tamizado por	ASTM D-422, MTC E 107-2016	Grava	3.1
		Arena	69
		Finos	27.9
Granulometría Hidrometría por	ASTM D-422. Método B; MTC E 109-2016	Limo	24.9
		Arcillas	3.0
		Coloides	0.00
Límites de consistencia	ASTM D-4318 MTC E 110-2016 MTC E 109-2016	Limite líquido	29.5
		Limite plástico	20.2
		Índice de plasticidad	9.3
Clasificación de suelos	Clasificación Unificada de Suelos (SUCS). ASTM D 2487	Suelo tipo SC	Arena Arcillosa
	Clasificación AASHTO método M145 ASTM D3282	Suelo tipo A-2-4(0)	Material granular: Arenas. Suelo excelente como uso en subrasante

Se observa que presenta mayor contenido de humedad la muestra 2, lo que denota presencia de arcillas, debido a que estas tienden a absorber agua; en cuanto a la proporción de sus componentes, verificados en su granulometría, las muestras 1 y 3 presentan poco contenido de gravas, mientras que la muestra 2 no la presenta, en cuanto al contenido de finos se observa que después de hacerle el ensayo del hidrómetro, los valores de arcillas y limos presentan porcentajes similares en las muestras 1 y 3, a diferencia de la muestra 2 que presenta mayor contenido de finos, específicamente mayor contenido de arcillas.

La muestra 2 presenta el más alto valor en el límite líquido y límite plástico, y por consecuencia también se ve reflejado en el aumento del índice plástico, este valor, refleja que necesita más cantidad de agua que las demás muestras para llegar a su límite líquido y plástico, lo cual indica también mayor predominancia de finos y propiamente de arcillas.

4.1.3.6. SELECCIÓN DEL MATERIAL.

Después de los diversos ensayos de laboratorio desarrollados a las muestras en estudio en el cual fueron clasificados los suelos: las Muestras 1 y 3 resultaron ser un suelo tipo SC este atributo resulta ser bueno, dando así un suelo de *“calidad excelente”* si es que se desea usar este tipo de suelo en la construcción de subrasante, entendiéndose como

subrasante a la capa de suelo preparado y compactado para soportar una estructura o un sistema de pavimento propiamente conocido como una vía[110], es un material de bajo contenido en arcillas, este parámetro es de gran importancia como aplicativo para construcción de vías y carreteras; sin embargo la Muestra 2, contiene mayor cantidad de finos y en consecuencia de arcillas es calificado por el sistema de clasificación SUCS como un suelo tipo CL que significa una arcilla de baja plasticidad es decir la predominancia del material encontrado es arcillas, su clasificación AASHTO indica ser **“un suelo malo”** para la construcción de subrasante, como el caso anterior al tener exceso de contenido de arcillas, estas frente al agua de lluvias podría presentar procesos de absorción-retracción y romper la vía , pero como ese no es el objetivo de la investigación, ese resultado no afecta en nada la visión que se tiene para la realización de la tesis. Por tanto la muestra seleccionada para la fabricación de los adobes tanto convencional y compactada, como mejor opción de materia prima es el suelo que corresponde a la muestra 2 Huachipa.

4.1.3.7. COMPOSICIÓN DEL SUELO POR ANÁLISIS DE DIFRACCIÓN POR RAYOS X

Los resultados del análisis de Difracción por Rayos X, se presentan en graficas donde se observan los picos que representan a cada uno de los compuestos mineralógicos y tablas donde se puede observar a nivel cuantitativo la proporción de estos elementos. Se analizó a la muestra 2- Huachipa debido a su alto contenido de finos con respecto a las muestras 1-Chorrillos y 3-Manchay, se consideró este parámetro según la norma técnica para fabricación del adobe convencional, la cual pide un buen contenido de arcillas, sin embargo se analizará el comportamiento mecánico y térmico que presente este suelo en la realización de adobes convencionales y adobes compactados y estabilizados con cemento.

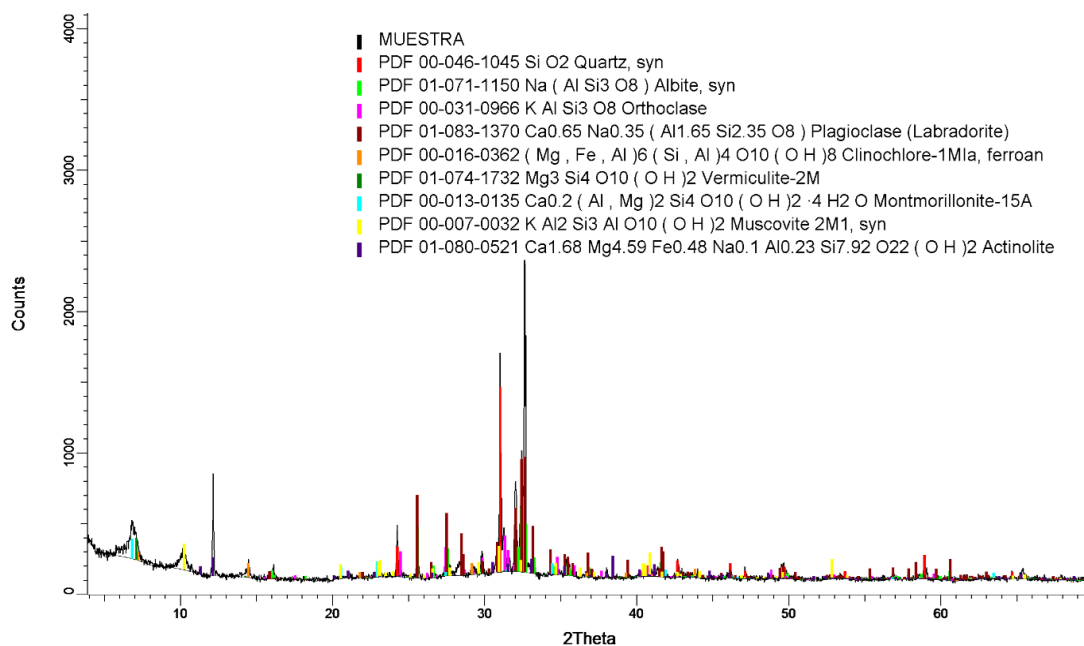


FIGURA 51. Análisis Cualitativo por Difracción de rayos X: Muestra 2-Huachipa,

TABLA 54. Análisis Cuantitativo por Difracción de rayos X: Muestra 2-Huachipa.

Phase Name	Wt% Rietveld
Labradorite	39.65
Quartz	19.90
Muscovite 2M1	14.41
Orthoclase	11.07
Albite	7.57
Actinolite	4.07
Clinocllore	2.79
Montmorillonite	0.38
Vermiculite	0.16
	100

INTERPRETACION DE RESULTADOS

- El ensayo por difracción (*Figura 50*) permitió identificar la presencia de material mineralógico a nivel cualitativo presente en la muestra de suelo en estudio, encontrándose la presencia de Montmorillonita que es un tipo de arcilla que otorga plasticidad a la mezcla y capacidad de retención de agua, aunque en exceso puede producir agrietamientos durante el secado. Se encontró también la arcilla Vermiculita que también le aporta plasticidad al suelo cuando está en contacto con el agua.

- El difractograma también refleja la presencia de moscovita (silicatos) propiamente una mica alumínica y Clinocllore (silicato subgrupo filosilicato).
- También se identificó la existencia de otros componentes como el Cuarzo y los feldespatos entre ellos labradorita en mayor grado, los cuales le dan consistencia y resistencia mecánica.
- Se realizó el análisis a nivel cuantitativo de la muestra de suelo Huachipa, donde se observan los porcentajes en peso para los diferentes componentes mineralógicos, teniéndose en cuenta que se discrimino de acuerdo a la estructura cristalográfica mas no tomando en cuenta el tamaño de grano.

4.1.3.7. ENSAYO DE COMPACTACION DE SUELOS: PRUEBA DE PROCTOR MODIFICADO.

En la tabla siguiente se muestra los resultados:

TABLA 55. Valores obtenidos en el ensayo de compactación Muestra2- Huachipa

COMPACTACION				
Prueba N°	1	2	3	4
N° de capas	5	5	5	5
N° de golpes por capa	56	56	56	56
Peso del molde + Suelo compacto (gr)	5820	5961	6055	5995
Peso del Molde (gr)	4161	4161	4161	4161
Peso suelo compacto (gr)	1659	1800	1894	1834
Volumen del Molde (cm3)	940	940	940	940
Densidad Húmeda (gr/cm3) (ρ_h)	1.765	1.915	2.015	1.951

TABLA 56. Contenido de humedad de la mezcla compactada. Muestra2- Huachipa

CONTENIDO DE HUMEDAD				
Prueba N°	1	2	3	4
Tara N°	T-1	T-2	T-3	T-4
Tara + suelo húmedo (gr)	136.0	140.5	144.0	155.8
Tara + suelo seco (gr)	130.0	132.0	132.8	140.2
Peso del agua (gr)	6.0	8.5	11.2	15.6
Peso de tara (gr)	44.2	46.2	47.2	42.8
Peso suelo seco (gr)	85.8	85.8	85.6	97.4
Contenido de humedad (%)	7.0	9.9	13.1	16.0
Densidad seca (gr/cm3) (ρ_s)	1.649	1.742	1.782	1.682

Los valores obtenidos se expresan en forma gráfica, donde se ubican los pares ordenados humedad, densidad seca ($h\%$; ρ_s).

Los resultados obtenidos en la Prueba de Compactación Proctor se expresan en la Curva Densidad Seca vs Humedad (Figura 52)

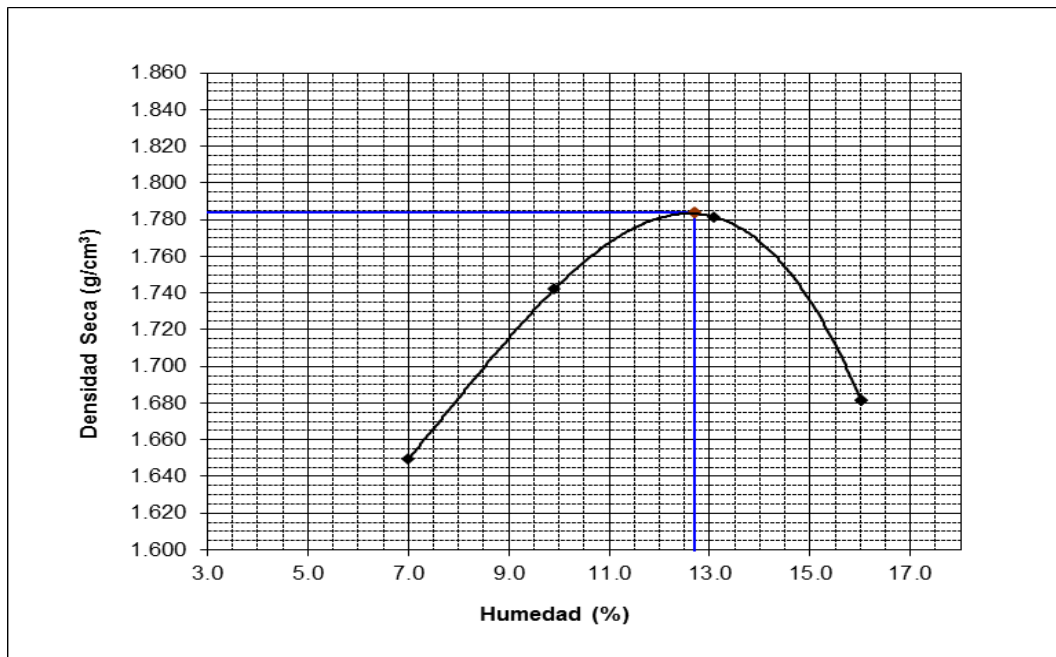


FIGURA 52. Curva de Compactación Proctor modificado, Densidad seca vs Humedad.

TABLA 57. Resultados obtenidos en el ensayo Proctor Modificado método “A”.

Tipo de ensayo	Normatividad	Parámetros	Valores
Ensayo de compactación. Método Proctor Modificado	ASTM D1557-91	Máxima Densidad seca	1.784 gr/cm ³
		Humedad optima	12.70%

De acuerdo al ensayo Proctor Modificado, se obtienen los valores de 12.70% de humedad óptima aplicada a la muestra de Suelo Huachipa si se desea obtener la máxima densidad seca, que sería 1.784 gr/cm³.

El ensayo de Compactación Proctor Modificado - Método A; tiene una Energía de Compactación aplicada de 16.49 kg-cm/cm³, es la energía que se debe aplicar a la muestra 2 con una humedad optima de 12.7% para obtener una máxima densidad seca de 1.784 gr/cm³.

4.1.3.8. RESULTADOS DE ENSAYOS FISISCOQUÍMICOS

Se presenta la siguiente tabla para el tipo de suelo en estudio, muestra 2- Huachipa

TABLA 58. Composición fisicoquímico del suelo de Huachipa.

Análisis Fisicoquímico	ppm
Cloruros (Cl) ASTM D 3370 AASHTO T291	216
Sulfatos (SO ₄) ASTM E 275 AASHTO T290	3921
Sales Solubles MTC E 219 ASTM D 1888	4334

Los resultados obtenidos de cloruros y sales solubles se encuentran dentro de los rangos permitidos según normas ASTM, el parámetro de contenido de sulfatos es moderadamente elevado, definiendo al suelo de Huachipa como un suelo agresivo por ataque químico de sulfatos. El ataque corrosivo por sulfatos sería despreciable en suelos con poca humedad [111], pero los suelos arcillosos presentan mayor contenido de humedad [112]; sin embargo, el suelo de Huachipa será usado como material de canteras para fabricación de bloques, mas no, como material de fundación o asentamiento.

Esto aplica cuando se use el material tierra como suelo de fundación donde pueden ir tuberías enterradas como oleoductos o instalaciones de gas o material corrosivo como el fierro corrugado presente en columnas, siempre y cuando el tipo de suelo no esté en contacto directo con agua que active al ion sulfato y este ejerza su acción corrosiva.

4.2. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL y LADRILLO COMÚN.

Se hizo el análisis de resistencia mecánica para las unidades de:

- Adobes compactados
- Adobes convencionales
- Adobes cocidos o ladrillo artesanal

Consiste básicamente en analizar mediante graficas el comportamiento mecánico que se obtuvo después de ser ensayado el material, esto se hizo para las unidades de adobe compactado, adobe convencional y adobes cocidos, denominado este último: ladrillo artesanal. A su vez los resultados expresados en gráficas obtenidas ayudan a comparar resultados con Normas nacionales como Adobe NTE-080, Norma Albañilería NTE-070, ITINTEC 331.017 y Normas internacionales como UNE 41410. Se puede finalmente hacer una predicción de acuerdo a la tendencia que expresan las graficas

4.2.1. Resistencia a la Compresión de unidades de adobe compactado en función a la Presión de compactación

Los adobes compactados dieron como resultado, las siguientes resistencias de compresión (Fb) en kg/cm² (ver tabla), para cada serie de porcentajes de cemento, variando las presiones de compactación. Teniendo en cuenta que cada valor en la tabla representa el promedio de tres a más unidades ensayadas.

TABLA 59. Resistencia a compresión de unidades en función a la Presión de Compactación.

Pc de adobes (MPa)	Resistencia a Compresión a diferentes porcentajes de cemento				
	Fb (kg/cm ²)				
	0%	5%	10%	15%	20%
0	9.07	15.82	25.65	41.51	41.6
0.62	24.78	28.6	39.69	63.91	94.01
1.24	31.13	31.65	41.12	65.3	97.63
1.86	33.24	33.6	45.58	69.26	112.74
2.48	34.07	34.71	48.16	70.64	121.83
3.1	35.43	36.05	51.33	75.52	116.76
3.72	36.6	46.44	74.29	57.3	111.4
4.34	42.99	70.23	57.7	56.27	110.16
4.96	47.9	47.64	53.29	56.18	109.13

Los resultados obtenidos en Resistencia a compresión se expresan en la siguiente gráfica.

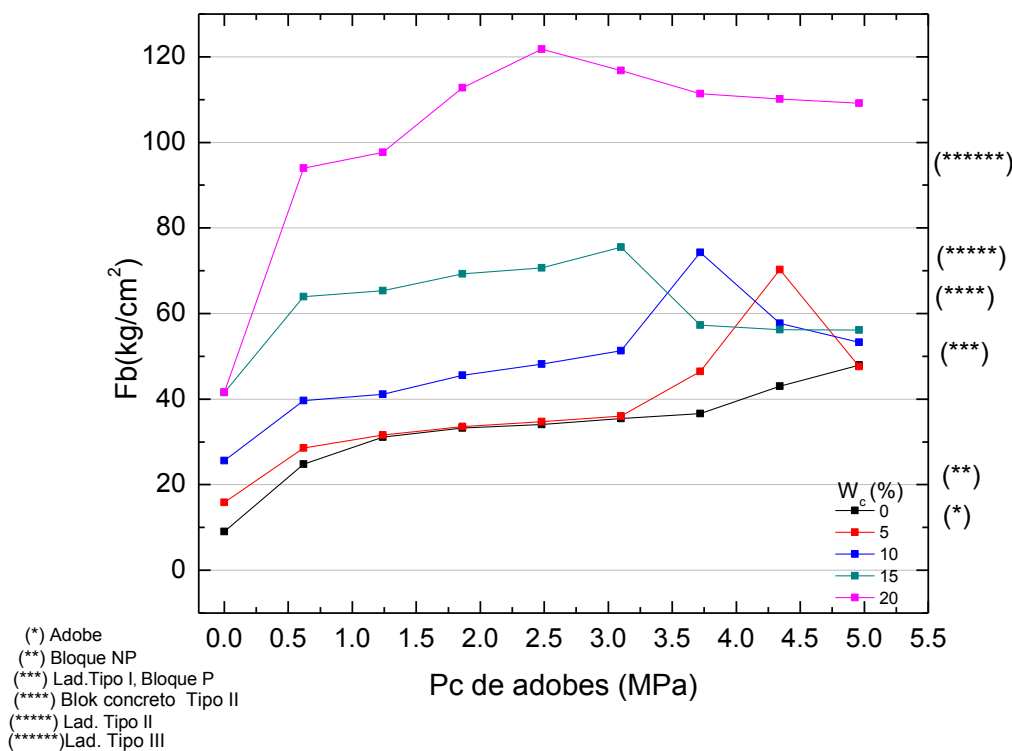


FIGURA 53. Resistencia a la compresión vs. Presión de compactación para diferentes porcentajes en peso de cemento. Las líneas horizontales punteadas indican los valores de esfuerzos mínimos según la Norma Técnica Peruana del adobe NTE 0.80 y la Norma Técnica Peruana de Albañilería NTE 0.70.

En la gráfica, cada línea de color representa a una serie de adobes compactados elaborados con un mismo porcentaje de cemento y cada punto perteneciente a dicha línea indica una presión de compactación a la cual fue fabricado.

Así también los picos más elevados de cada línea de color denotan la máxima resistencia mecánica (F_b) alcanzada para su serie en porcentaje de cemento ($W_c\%$), lo que indica una óptima presión de compactación a la cual fue fabricado, concluyendo así que dentro de su serie de porcentaje de cemento, existe una óptima presión de compactación en la cual el adobe debe ser compactado en la etapa de su fabricación para que esté presente su mayor resistencia a compresión.

También se muestran las líneas horizontales, donde se hace un contraste con la normas del adobe y la norma de albañilería, en donde se ubica el adobe compactado con una buena resistencia a compresión, cuyos valores superan al adobe convencional y compiten con otras unidades como el ladrillo artesanal, ladrillo tipo I, tipo II, Tipo III y Bloque de concreto tipo II.

Se debe considerar que todas las unidades hechas y ensayadas, las cuales en promedio representan cada punto en la línea, fueron hechas a un mismo contenido de agua, el cual es definido por un ensayo previo, no llegando a tener la consistencia barrosa o lodosa de la mezcla de adobe.

Se observa que el punto inicial de la línea de color negro, está por debajo de la línea punteada, la cual indica el mínimo valor en resistencia mecánica para el adobe sugerido por la NTP E 0.80, esto debido a que al fabricarse con un mínimo contenido de agua, y al no contener cemento en esta primera muestra, el agua es limitada a reaccionar solo con la tierra, y por ser clasificado a este tipo de suelo como un CL – arcilla de baja plasticidad, requiere mayor contenido de agua para que reaccionen las moléculas internas de arcilla, al no ser así, el poco contenido de agua definido solo para Procesos de compactación llega a ser un limitante en la mezcla tierra-agua, cuando no existe dicha Presión de Compactación (P_c).

Se puede observar que esto no sucede con los primeros puntos de las demás series de porcentajes mayores de cemento, ya que estos valores se encuentran por encima del valor

sugerido por la norma del adobe; así también existen otras unidades compactadas, con presiones de compactación mayores, cuyas resistencias a compresión se aproximan y superan a otras unidades de albañilería dadas por la NTP 0.70 como el ladrillo tipo II, Tipo III y Bloque de concreto tipo II.

Se asume que el contenido de humedad presente en la mezcla reacciona con el cemento aportado desde el 5% hasta el 20% presentando un aumento gradual en el valor del Fb, llegando casi a coincidir, el primer punto que corresponde a la serie del 20%, con el valor del Fb obtenido para el punto inicial de la serie del 15% cemento. Este hecho se visualiza en la gráfica donde los puntos iniciales de la línea azul y fuxia correspondientes al 15% y 20% en Wc% llegan así a coincidir, notándose que el Fb tiende a mantenerse constante, pero esto se observa mejor en la gráfica de *“resistencia a compresión de unidades en función al Porcentaje de Cemento”*.

4.2.2. Resistencia a la Compresión de unidades de adobe compactado en función al Porcentaje de cemento

Los adobes compactados dieron las siguientes resistencias de compresión (Fb) en kg/cm² para cada serie de presiones de Compactación hechos a diferentes porcentajes de cemento. Los valores de resistencia a la Compresión de unidades en función al Porcentaje de cemento, tomando en cuenta a todas las Presiones de compactación se expresan en la siguiente tabla:

TABLA 60. Resistencia a la Compresión de unidades de adobe compactado en función al Porcentaje de cemento

Porcentaje de Cemento (Wc%)	Resistencia a Compresión (Fb) a diferentes Presiones de compactación (Kg/cm2)								
	0 MPa	0.62 MPa	1.24 MPa	1.86 MPa	2.48 MPa	3.1 MPa	3.72 MPa	4.34 MPa	4.96 MPa
0	9.07	24.78	31.13	33.24	34.07	35.43	36.6	42.99	47.9
5	15.82	28.6	31.65	33.6	34.71	36.05	46.44	70.23	47.64
10	25.65	39.69	41.12	45.58	48.16	51.33	74.29	57.7	53.29
15	41.51	63.91	65.3	69.26	70.64	75.52	57.3	56.27	56.18
20	41.6	94.01	97.63	112.74	121.83	116.76	111.4	110.16	109.13

Los resultados obtenidos en Resistencia a compresión se expresan en la siguiente Grafica

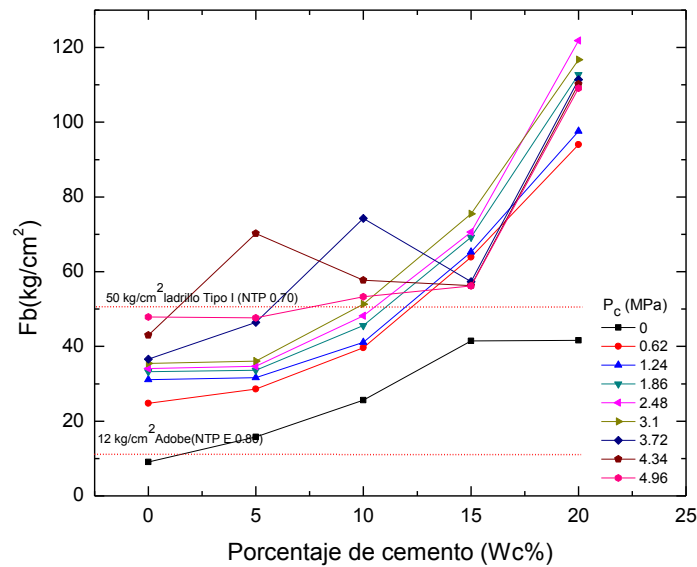


FIGURA 54. Resistencia a la compresión vs. Porcentajes en peso de cemento para diferentes Presiones de compactación. Las líneas horizontales punteadas indican el valor mínimo según la Norma Técnica del adobe NTE0.80 y Norma Técnica de Albañilería NTP 0.70.

Esta grafica reporta los valores en resistencia a compresión en función al porcentaje de cemento; cada línea traduce una presión de compactación dada, también se observan las líneas punteadas que hacen referencia a los valores dados por Normas.

Se observa que la línea negra que corresponde a una nula presión de compactación tiende a un valor constante para porcentajes de cemento mayores a un mínimo determinado que en este caso asciende al 15% (esta afirmación está condicionada al rango de valores de porcentajes de cemento usados), es decir no influiría más el agregarle mayor contenido de cemento porque al no presentar compactación, se asume que no hay mayor acercamiento entre partículas, por tanto el Fb correspondiente no aumentaría por más que se le aumente el Wc%.

Esto se explica debido a que hay una cantidad mínima de cemento hidráulico para la cual a un peso de agua de hidratación constante, la resistencia de la mezcla no aumenta, debido a que la totalidad de dicha agua reacciona con el total de cemento. Al mantenerse constante el agua de hidratación, la cantidad de agua utilizada (humedad de hidratación) limita a su vez la cantidad de cemento.

4.2.3. Máximas resistencias a la Compresión de unidades de adobe compactado en función a la Optima Presión de compactación

De la Figura 53 (Resistencia a compresión de unidades en función a la presión de compactación), se pueden ubicar los puntos máximos en Resistencia a compresión que corresponden a una presión de compactación a la cual se le denominará optima, esto para cada serie de cemento, creándose un par ordenado (OPc; MFb) para un Wc% determinado, se elabora una nueva gráfica que resume los valores máximos de Resistencia a compresión (MFb) por serie de porcentaje de cemento (0, 5, 10, 15, 20) que se encuentran en función a una presión de compactación Optima (OPc) adecuadas para cada serie de Porcentaje de cemento. Los puntos obtenidos se describen en la Tabla 64.

TABLA 61. Máximas resistencia a compresión en función a óptimas presiones de compactación

Máximas Resistencias a Compresión (MFb) en función a la OPc	
OPc(MPa)	MFb (kg/cm ²)
2.48	121.83
3.1	75.52
3.72	74.29
4.34	70.23
4.96	47.9

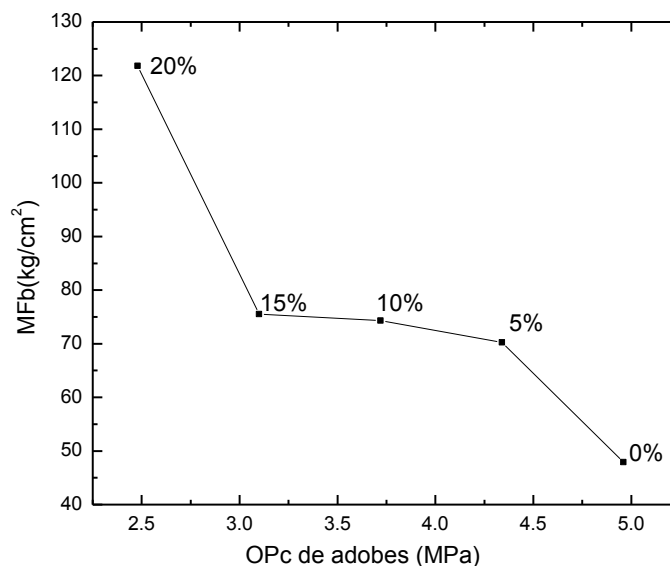


FIGURA 55. Máximas Resistencias a la compresión vs. Óptimas presiones de compactación para diferentes Porcentajes de cemento.

En la gráfica se observan las máximas resistencias a compresión que se dan cuando la unidad es fabricada a una Óptima presión de compactación. Se observa que a medida que aumente el Wc%, la OPc disminuye, esto indica que cuanto menos cemento tenga la

unidad, mayor presión de compactación va requerir para que alcance una mayor Resistencia a Compresión de sus unidades.

4.2.4. Máximas resistencias a la Compresión de unidades de adobe compactado en función al Porcentaje de cemento

De la Figura 53 (Resistencia a compresión de unidades en función al porcentaje de Cemento), se pueden ubicar las Resistencias máximas a compresión para cada serie de cemento, teniendo en cuenta que para un 0% Wc hay una Máxima Resistencia a compresión (MFb), así como las hay para las del 5%, 10%, 15% y 20% , creándose así, una nueva grafica donde solo se toman los valores Máximos de resistencia a Compresión (MFb) en función a sus respectivos porcentajes de cemento para una determinada Optima presión de compactación(OPc). Los puntos obtenidos se describen en la Tabla 65.

TABLA 62. Máximas resistencias a compresión en función a porcentaje de cemento.

Máximas Resistencias a Compresión (MFb) en función al % Wc	
Porcentaje de cemento (Wc%)	MFb (Kg/cm2)
0	47.90148
5	70.23302
10	74.2908
15	75.52176
20	121.82852

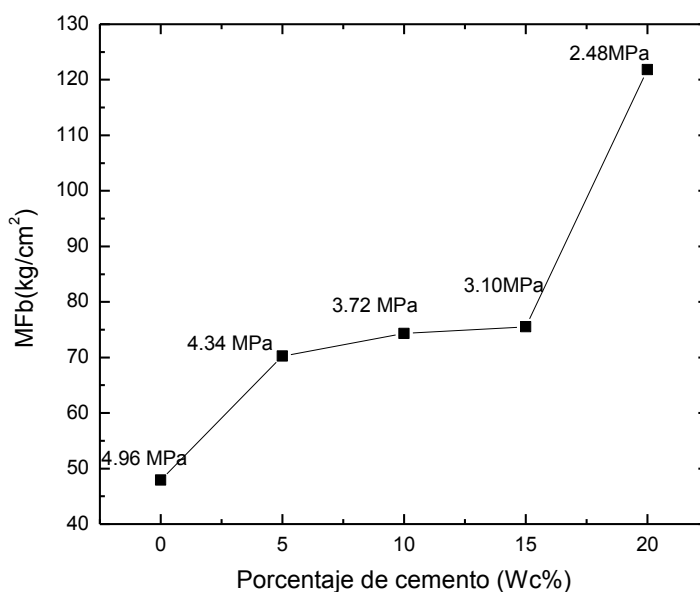


FIGURA 56. Máximas Resistencias a la compresión vs. Porcentajes de cemento para Óptimas presiones de compactación.

La grafica reporta las Máximas resistencias a compresión de unidades, que se obtienen para cada serie de cemento, se observa que para cada dosificación de cemento elaborada a diferentes Presiones de Compactación (Pc) existe una, para la cual el adobe compactado presenta la mayor resistencia a compresión.

Se observa que a medida que aumenta el Wc%, aumenta también las Máximas Resistencias a Compresión (MFb), esto indicaría que cuanto más cemento tenga la dosificación presente en la unidad, mayor será la Máxima Resistencia a Compresión (MFb), sin embargo la Optima Presión de Compactación (OPc) va decreciendo a medida que la dosificación de cemento vaya en aumento.

El aumento del porcentaje de cemento (Wc%) es directamente proporcional a la Resistencia a compresión pero inverso a la Optima presión de compactación (OPc).

Se observa que esta grafica tiene relación con la gráfica anterior que considera Máximas resistencia a compresión con las Óptimas presiones de Compactación (MFb – OPc), pero se presenta como una imagen especular y con pendiente positiva, considerándose en una escala mayor con respecto a la anterior.

4.2.5. Optima presión de Compactación en función al Porcentaje de cemento

Se observa que las figuras anteriores presentan relación, así como una similitud especular. Se realiza la relación entre el Wc% con la OPc, descrita en la Tabla N 66.

TABLA 63. Optima presión de compactación en función al porcentaje de cemento.

Optima Presión de Compactación en función al Porcentaje de Cemento	
Porcentaje de cemento (Wc%)	OPc
	(MPa)
0	4.96
5	4.34
10	3.72
15	3.1
20	2.48

La relación entre el Wc% con la OPc, se expresan en la siguiente figura:

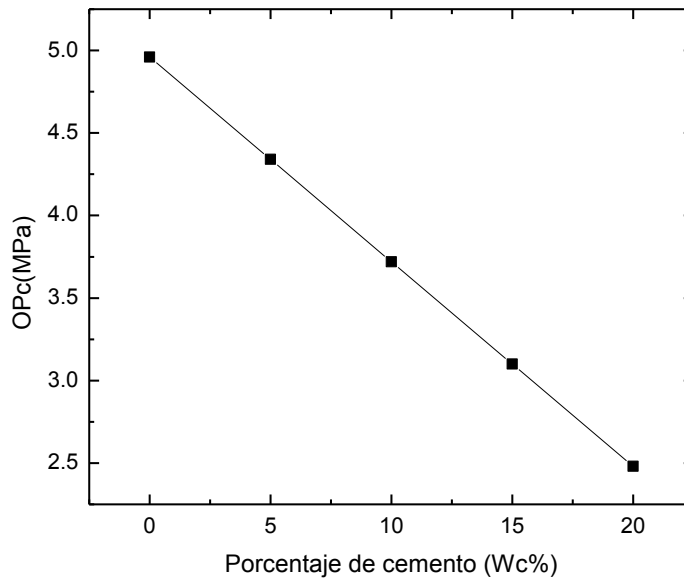


FIGURA 57. Óptimas presiones de Compactación en función al Porcentaje de cemento.

La grafica describe las Óptimas presiones de compactación que se requieren para la fabricación de unidades de adobes compactados, cuando se tiene una mezcla de suelo-cemento a diferentes proporciones de cemento, se debe tomar en cuenta que las dosificaciones de tierra: cemento: agua presentan un parámetro fijo en el contenido de agua, por ser una mezcla semiseca, la cantidad de agua es la óptima requerida para procesos de compactación (Óptimo contenido de humedad -Ensayo Proctor)

Se observa que a medida se aumente el Wc% en la mezcla, disminuyen las óptimas presiones de compactación (OPc), esto indicaría que cuanto más cemento contenga la mezcla, menor será la Óptima Presión de Compactación necesaria para la fabricación del adobe compactado, llegando este a presentar la Máxima Resistencia a Compresión (MFb) para su serie de cemento.

Se creía que estos parámetros tenían una influencia parcial, pero se relacionan ambas, la OPc y Wc%, encontrándose que no son variables independientes, sino más bien presentan una relación lineal con pendiente negativa.

Es un resultado novedoso, son linealmente dependientes; el contenido de humedad (h%) y el porcentaje de cemento (Wc%) definen un tipo de mezcla, que en este caso es una mezcla semiseca, usada para la fabricación de adobes compactados y la humedad aportada es definida únicamente para procesos de compactado, esto a su vez define una óptima

presión de compactación (OPc), para la cual la unidad presenta una máxima resistencia a compresión (MFb).

Esta gráfica resume la relación que se da entre los parámetros del porcentaje de Cemento (Wc%), Optima Presión de compactación (OPc) y Máxima Resistencia a compresión (MFb), Se puede decir que el aumento del porcentaje de cemento (Wc%) es inverso a la Optima presión de compactación (OPc) y directo a la Máxima resistencia a compresión (MFb).

Es así, que con el resultado obtenido, puede crearse un ábaco predictivo que puede ser usada para el tipo de suelo en estudio y para una humedad fija, lo mismo se podría realizar variando humedades y tipos de suelo, de acuerdo al emplazamiento donde se quiera aplicar la metodología.

4.2.6. Resistencia a la Compresión en probetas de suelo-cemento No compactado.

Se fabricaron probetas que fueron elaboradas con dos tipos de mezclas cuya variante es el agua:

Mezcla 1: tierra: cemento: agua, en proporciones variables de cemento partiendo desde el cero (0%) y con aumentos sucesivos de cada 5% hasta llegar al 20% y con una cantidad fija de agua que en este caso es del 12.7%.

Mezcla 2: tierra: cemento: agua, en proporciones variables de cemento partiendo desde el cero (0%) y con aumentos sucesivos de cada 5% hasta llegar al 20% y con una cantidad fija de agua que en este caso aproxima el 23%.

En la Figura 53 (Resistencia a compresión en función a la presión de compactación), las probetas construidas a partir de la mezcla semiseca (línea negra), son los puntos iniciales de compactación para cada línea de Porcentaje de cemento constante.

TABLA 64. Resistencia a compresión de probetas en función al contenido de agua.

Porcentaje de cemento Wc%	Resistencia a Compresión de probetas sin compactación (kg/cm ²)	
	Pc: 0 MPa	
	Mezcla 1: semiseca h:12.70%	Mezcla 2: lodosa y plástica h:23%
0	9.07	14.07
5	15.82	4.82
10	25.65	6.65
15	41.5	23.51
20	41.6	42.3

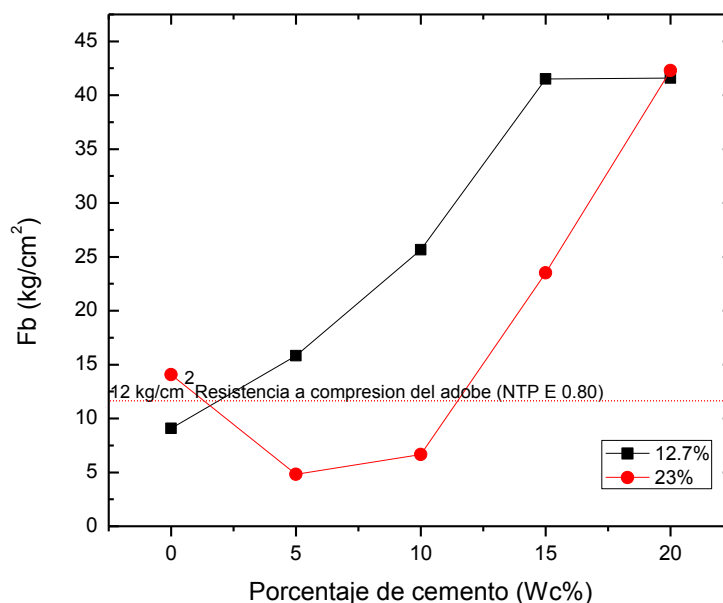


FIGURA 58. Resistencia a la Compresión en función al Porcentaje de cemento para mezclas a diferentes humedades.

En la gráfica se observa las líneas que representan a 2 tipos de mezclas, la primera (línea de color negro) con humedad del 12,7% y la segunda (línea de color rojo) con humedad del 23% en peso, son dos mezclas diferentes, ambos tienen el mismo porcentaje en peso de materiales secos, el porcentaje de agua varía haciendo que la mezcla presente diferentes consistencias: “mezcla semiseca” y “mezcla lodosa”.

La línea horizontal (línea punteada) representa el valor sugerido por la norma, para el caso de la mezcla 1: el punto inicial del valor de resistencia mecánica se encuentra por debajo de dicha línea, se debe porque tiene una mezcla semiseca provista únicamente de tierra-agua, no presenta un conglomerante adicional (cemento), el porcentaje de agua es mínimo para que se activen las arcillas que se encuentran en el suelo, no existe una fuerza física externa que logre un mayor acercamiento interno de sus partículas y por ende un aumento en su resistencia, producto de ello el valor de la resistencia a compresión de la unidad es menor. Al aumentar gradualmente cada 5% el porcentaje de cemento a la mezcla, se observa el aumento de la resistencia a compresión, esto se explica debido a que hay una cantidad mínima de cemento hidráulico para la cual a un peso de agua de hidratación constante, la resistencia de la mezcla no aumenta, debido a que la totalidad de dicha agua reacciona con el total de cemento. Al mantenerse constante el agua de hidratación, la cantidad de agua utilizada (humedad de hidratación) limita a su vez la cantidad de cemento.

El contenido de humedad aportado y definido por el Proctor, es un contenido de humedad mínimo y mucho menor que el usado en adobes convencionales, tiende a ser más eficiente

en una mezcla de tierra-cemento que en una mezcla solo de tierra a menos que, esta mezcla de tierra-agua fuese compactada, ya que si fuese sin compactación, necesitaría mayor cantidad de agua para que reaccionen las arcillas, pero al aplicar la P_c , compensaría el déficit de agua ya que habría un mayor acercamiento interno de sus partículas, logrando así un mayor F_b , sin embargo en mezclas de suelo-cemento, ese contenido de humedad mínimo requerido y definido para procesos de compactación; logra reaccionar de manera más eficiente con $W_c\%$, se podría concluir que la Reacción Cemento-Agua es más eficiente que la Reacción Arcilla-Agua, al menos para un mismo contenido de humedad.

De la gráfica anterior se observa que llegado al 20% de cemento las 2 mezclas tienen la misma resistencia a diferentes porcentajes de humedad.

4.2.7. Resistencia a La Flexión de unidades de adobe compactado en función a la presión de Compactación.

Los adobes compactados fueron sometidos a la prueba de Flexión de unidades dando como resultados las siguientes resistencias a la Flexión (M_r) en kg/cm^2 , para cada serie de porcentaje de cemento hechos a diferentes presiones de compactación (P_c).

TABLA 65. Resistencia a flexión de unidades en función a la Presión de compactación.

Pc de adobes (MPa)	Resistencia a la Flexión de unidades a diferentes porcentajes de cemento				
	M_r (kg/cm^2)				
	0%	5%	10%	15%	20%
0	--	--	--	--	--
0.62	4.52	4.82	6.45	7.02	8.21
1.24	4.8	4.88	6.67	7.29	9.62
1.86	5.16	5.23	6.99	7.56	10.13
2.48	6.1	6.17	7.88	8.82	12.26
3.1	6.09	6.45	8.37	8.47	12.07
3.72	6.11	6.57	8.19	8.34	12.07
4.34	6.22	6.3	8.17	8.25	12.11

Los resultados obtenidos en Resistencia a la Flexión de unidades se expresan en la siguiente gráfica: La gráfica de ensayo flexión de unidades reporta las siguientes curvas para cada serie de cemento:

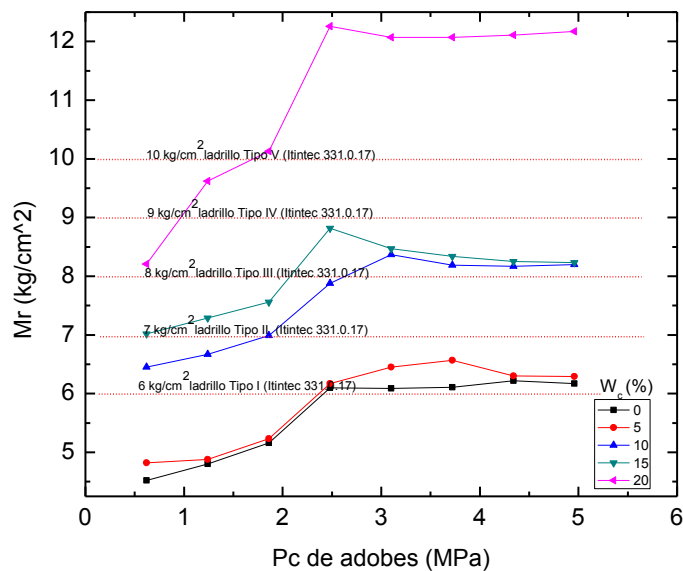


FIGURA 59. Resistencia a la Flexión (Mr) vs. Presión de compactación para diferentes porcentajes en peso de cemento. Las líneas horizontal punteada indica los valores de esfuerzos mínimos según la Norma Técnica ITINTEC 331.017.

La grafica describe cada línea de color, la cual representa a una serie de adobes compactados hechos a un mismo porcentaje de cemento y cada punto perteneciente a dicha línea, indica una Presión de Compactación a la cual fue fabricado.

Se observa que los picos más elevados de cada línea de color denotan la máxima resistencia a Flexión (Mr) alcanzada para su serie en Porcentaje de cemento (Wc%), este punto de inflexión denota la existencia de la Óptima Presión de compactación. la gráfica describe líneas horizontales punteadas, se hace un contraste de los valores alcanzados en este ensayo con los valores sugeridos por la Norma ITINTEC 331 0.17 [113], cuyos valores alcanzados como se observan superan otras unidades como el ladrillo tipo I, tipo II, Tipo III, tipo IV y Tipo V.

Al aumentar la resistencia a la tracción del ladrillo se aumenta también la resistencia a la compresión de la albañilería. (Norma Itintec 331.017).

El conocer el valor del módulo de ruptura, e identificar si este supera o no los valores sugeridos por normas, nos indica que presenta un buen comportamiento mecánico a la compresión y un mejor comportamiento a fuerzas como la tracción, tensión-deformación.

4.2.8. Resistencia a La Compresión de prismas de adobe compactado en función al porcentaje de Cemento para una Presión constante.

Los prismas de adobe compactado dan como resultado, las siguientes resistencias a compresión en prismas (F_m) en kg/cm^2 para cada serie de porcentajes de cemento elaborados en este caso a una misma presión de Compactación, fijando así la variable de fuerza de Compactación aplicada de 600kgf. Los esfuerzos obtenidos en Resistencia a compresión para las series de cemento se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 66. Resistencia a Compresión de prismas en función al porcentaje de cemento, para una P_c 1.86 MPa

Compresión pilas de adobes de 6T										
Muestra	Largo	Ancho	Altura	Carga (Pr) Kgf	hp/pt	Area bruta (kgf/cm^2)	Compresión	F.correc (N)	Compresión	Compresion Prom.
M 1-1: Adobe macizo 5% ₆ T	24.47	13.00	41.37	5500	3.18	318.07	17.3	1.09	19.0	18.0
M 1-2: Adobe macizo 5% ₆ T	24.63	13.03	41.93	5700	3.22	321.05	17.8	1.09	19.0	
M 1-3: Adobe macizo 5% ₆ T	24.43	13.03	42.00	4700	3.22	318.45	14.8	1.09	16.0	
M 2-1: Adobe macizo 10% ₆ T	24.47	13.13	40.00	12100	3.05	321.33	37.7	1.07	40.0	38.7
M 2-2: Adobe macizo 10% ₆ T	24.57	13.10	38.97	11200	2.97	321.82	34.8	1.07	37.0	
M 2-3: Adobe macizo 10% ₆ T	24.63	13.13	39.93	11650	3.04	323.52	36.0	1.07	39.0	
M 3-1: Adobe macizo 15% ₆ T	24.63	12.97	41.87	18950	3.23	319.41	59.3	1.09	65.0	66.7
M 3-2: Adobe macizo 15% ₆ T	24.67	13.00	40.70	19800	3.13	320.67	61.7	1.08	67.0	
M 3-3: Adobe macizo 15% ₆ T	24.53	13.13	40.80	20300	3.11	322.20	63.0	1.08	68.0	
M 4-1: Adobe macizo 20% ₆ T	24.6	13.13	39.93	21200	3.04	323.08	65.6	1.07	70.0	77.7
M 4-2: Adobe macizo 20% ₆ T	24.53	13.0	40.3	25650	3.10	318.93	80.4	1.08	87.0	
M 4-3: Adobe macizo 20% ₆ T	24.47	13.07	40.07	22500	3.07	319.70	70.4	1.08	76.0	
Prop. Mortero			Espesor de junta:				1.5	cm.		

Los resultados obtenidos en el ensayo de Resistencia a compresión de pilas de adobe compactado se expresan en la siguiente grafica

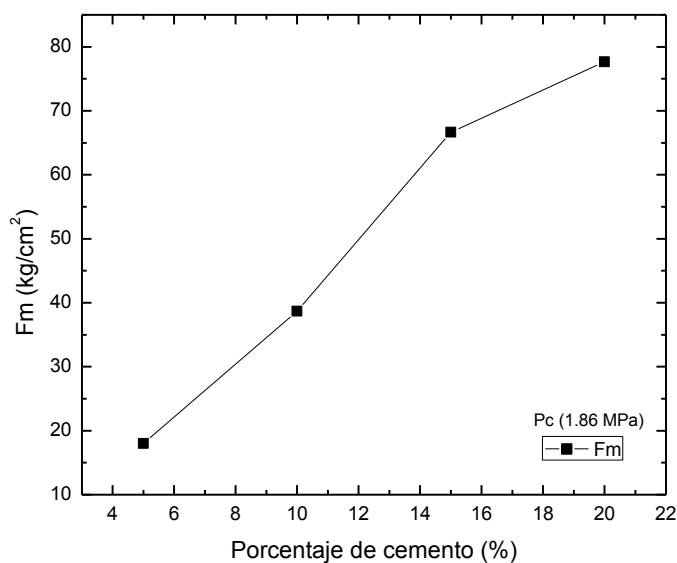


FIGURA 60. Resistencia a la compresión en pilas de adobe compactado vs. Porcentaje de cemento, para una presión de compactación de 1.86MPa.

La gráfica describe los valores obtenidos para la compresión de pilas hechas de adobe compactado a diferentes concentraciones de cemento y a una fuerza de compactación aplicada de 600kgf equivalente a una presión de compactación de 1.86 MPa, como se vio en el ítem anterior, es de gran importancia el tipo de mortero y el espesor de la junta ya que ésta, suma y determina en conjunto el comportamiento de la albañilería, para las pilas de adobe compactado se usó morteros de diversas concentraciones, siendo coincidente la dosificación del mortero con la dosificación de adobe compactado, es decir si el prisma fue hecho de unidades al 5% cemento, el mortero también tiene la misma dosificación, y para el caso de prismas de adobe convencional crudo y cocido, el mortero usado es el recomendado por la norma de albañilería E 0.70 agua: cemento 1:4, el espesor de la junta usado fue de 2 cm.

En la gráfica se observa un denotado aumento de la resistencia a compresión, conforme aumenta la concentración de cemento; sin embargo estos valores no son los que se usan directamente en la norma del adobe NTP E.0.80, sino más bien la norma llama a estos valores obtenidos como el “Esfuerzo de compresión último de la pila” ($f'm$) y sugiere que estos valores sean multiplicados por factores para determinar el valor del “Esfuerzo admisible a compresión del muro” (fm) y el “Esfuerzo admisible a compresión por aplastamiento” ($1.25fm$).

Resistencia a la compresión de la albañilería

Esfuerzo admisible a compresión del muro (fm): se obtendrá con la siguiente expresión.

$$fm = 0.25 * f'm \quad \text{ó} \quad 2kg/cm^2 \quad (NTP Adobe E 0.80)$$

Donde: $f'm$ = Esfuerzo de compresión último de la pila

Resistencia a la compresión por aplastamiento

El esfuerzo admisible de compresión por aplastamiento será:

$$1.25fm \quad (NTP Adobe E 0.80)$$

Donde: fm = Esfuerzo admisible a compresión del muro o de la albañilería

De estos valores corregidos se obtiene los siguientes resultados:

TABLA 67. Esfuerzo de compresión último, esfuerzo a compresión del muro, esfuerzo a compresión por aplastamiento en prismas de adobe compactado.

RESISTENCIA A COMPRESION DE PRISMAS DE ADOBE COMPACTADO EN FUNCION AL PORCENTAJE DE CEMENTO.			
Porcentaje de cemento (Wc%)	Esfuerzo de compresión último de la pila $f'm$	Esfuerzo admisible a compresión del muro (fm)	Esfuerzo admisible a compresión por aplastamiento. ($1.25fm$)
(%)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	
5	18	4.5	5.63
10	38.7	9.67	12.09
15	66.7	16.67	20.84
20	77.7	19.43	24.28

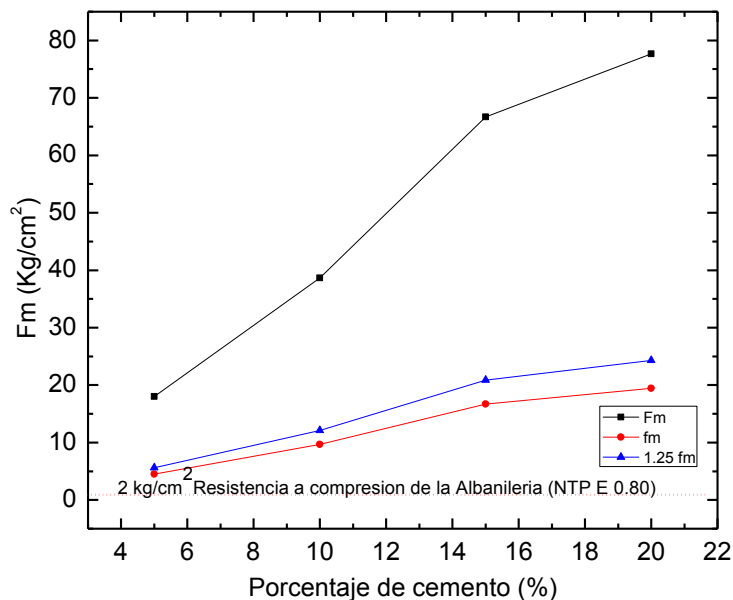


FIGURA 61. Resistencia a la compresión en prismas de adobe compactado vs Porcentaje de cemento, para una presión de compactación de 1.86MPa. La línea horizontal punteada indica el valor del esfuerzo mínimo para resistencia a compresión de la albañilería según NTE 0.80.

Se observa en la gráfica tres líneas que representan la “Resistencia última de la pila ($f'm$)”, “Resistencia a compresión de la albañilería (fm)” y la “Resistencia a compresión por aplastamiento ($1.25 fm$)”. De los cuales todos superan el valor mínimo sugerido por la norma del adobe.

El mismo proceso se realizó para prismas de adobe convencional y adobe cocido.

4.2.9. Resistencia a La Compresión de prismas de adobe artesanal crudo y cocido tipo king kong macizo.

Se ensayaron los prismas hechos de unidades de adobe crudo y cocido, estos fueron fabricados sin adiciones de cemento ni otro conglomerante, sin aumento de presión añadida, fueron hechos a una Temperatura ambiente aprox. de 26 °C y Humedad de 70% verificadas con un termohigrómetro.

Los prismas de adobes artesanales crudos y cocidos elaborados a la manera convencional, dieron las siguientes resistencias a compresión en prismas (F_m) en kg/cm^2 pero hechos a una misma presión de Compactación, fijando así una variable en este caso la Fuerza de Compactación aplicada de 0kgf. en la cual se usó unidades fabricadas con el método convencional que difiere del adobe compactado en contenido de humedad y tiempo de dormido de la mezcla, y donde no interviene proceso de compactación alguno, también se ensayó prismas hechos de unidades de adobe cocidos, los cuales fueron detallados en su proceso de fabricación en el ítem “3.4.Fabricación de prismas de adobe”.

Los esfuerzos obtenidos en Resistencia a compresión de prismas de adobe crudo y cocido se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 68. Esfuerzo de compresión último, esfuerzo a compresión del muro, esfuerzo a compresión por aplastamiento en prismas de adobe convencional y ladrillo artesanal.

RESISTENCIA A COMPRESION DE PRISMAS DE ADOBE CONVENCIONAL CRUDO Y COCIDO.			
Tipo de muestra	Esfuerzo de compresión último de la pila (kg/cm^2)	Esfuerzo admisible a compresión del muro (kg/cm^2)	Esfuerzo admisible a compresión por aplastamiento (kg/cm^2)
	f'_m	F_m	$1.25f_m$
M 1: Prisma de adobe artesanal crudo	13.3	3.3	4.2
M 2: Prisma de adobe artesanal cocido	78	19.5	24.4

Los resultados obtenidos en Resistencia a compresión de prismas de adobe compactado se expresan en la siguiente gráfica:

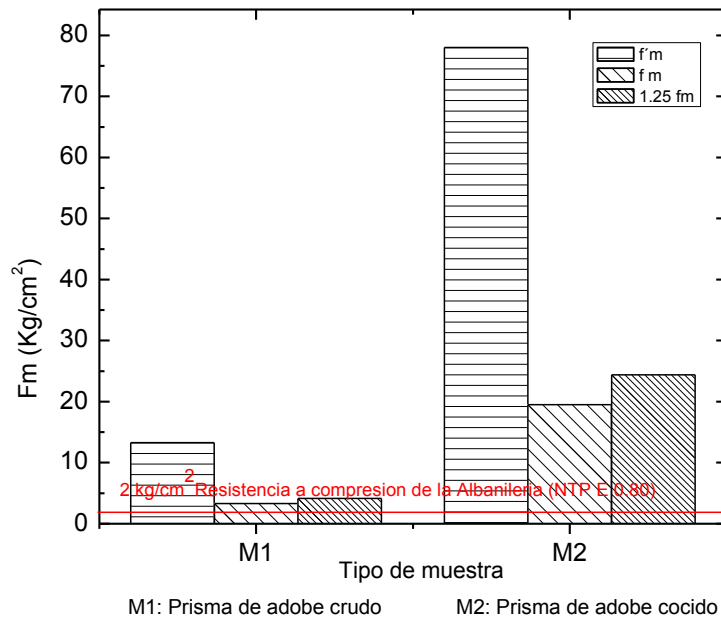


FIGURA 62. Resistencia a la compresión en prismas de adobe crudo y cocido, para una presión de compactación nula o de 0MPa. La línea horizontal punteada indica el valor del esfuerzo mínimo para resistencia a compresión de la albañilería según Norma del Adobe NTE 0.80.

La gráfica describe los valores obtenidos para la compresión de pilas hechas de adobe convencional crudo y cocido, sin concentración de cemento y presión de compactación de 0 MPa, se trata de la mezcla de barro usada para hacer los adobes convencionales, y cuya junta está hecha de un mortero tipo II, el espesor de la junta es 1.5 cm y está en la proporción de 1:4 cemento: agua. Se considera de importancia la junta, tanto en el tipo de mortero y el espesor de junta, ya que de ser mayor, le disminuye resistencia a todo el bloque de albañilería (NTE 0.70).

Así como en la gráfica anterior de esfuerzos a compresión de prismas hechos de adobe compactado, en este ensayo de compresión de prismas de adobe crudo y cocido, se observa que no hay presión añadida en la fabricación del adobe por eso es que no se puede ver la relación de aumento en la Resistencia a compresión pero si la clara diferencia que existe entre la muestra de adobe crudo y adobe cocido, se observa que los prismas hechos de adobe cocido superan en 5 veces a la resistencia presentada por el prisma fabricado de adobe crudo.

Así también se visualiza el esfuerzo de compresión último de la pila ($f'm$), y sus respectivos “Esfuerzo admisible a compresión del muro” (f_m) y el “Esfuerzo admisible a compresión por aplastamiento” ($1.25f_m$), pudiendo también ser contrastados estos valores con los esfuerzos admisibles mínimos según la norma del adobe.

4.2.10. Resistencia a La Compresión de unidades de adobe artesanal crudo y cocido tipo king kong macizo.

En este ítem se desarrolla el análisis del ensayo de unidades sometidas a compresión, tanto unidades crudas o cocidas. Se hicieron pruebas de ensayo a compresión para las unidades de adobe artesanal crudo y adobe artesanal cocido, la mezcla usada para ambas muestras es la misma, consiste en una mezcla de tierra: agua, pero con un contenido de humedad mayor al de la mezcla hecha para adobes compactados, la cual se aproxima al 23%, y se cumplió con el proceso del dormido, propio de unidades de adobe, fabricadas a la manera convencional, estas fueron hechas a una temperatura de 24 °C y humedad 65%.

El ensayo a compresión de unidades reportó las siguientes resistencias a compresión (Fb) para cada tipo de adobe:

TABLA 69. Resistencia a compresión de adobes convencional crudo y ladrillo artesanal

Compresión de adobes crudos y cocidos - tipo king kong macizo								
Muestra	Largo	Ancho	Alto	Peso	area	Carga	Compresión	Prom Compre
M1-1 :Ladrillo king kong macizo crudo	20.60	12.27	9.23	2855.5	252.69	3900	15.43	15.06
M1- 2: Ladrillo king kong macizo crudo	20.50	11.67	8.97	2280.5	239.17	3250	13.59	
M1- 3: Ladrillo king kong macizo crudo	20.43	11.65	9.13	2280.5	238.05	3850	16.17	
M2-1 :Ladrillo king kong macizo cocido	20.50	12.00	9.20	2763.6	246	18972	77.12	76.16
M2- 2: Ladrillo king kong macizo cocido	20.30	11.60	9.20	3900.1	235.48	16528	70.19	
M2- 3: Ladrillo king kong macizo cocido	20.30	11.80	9.30	2796.5	239.54	19445	81.18	

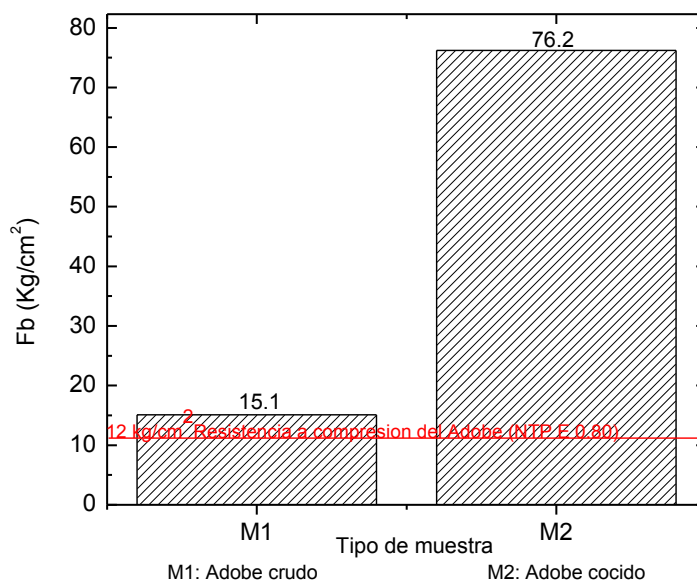


FIGURA 63. Resistencia a compresión de unidades de adobe y ladrillo artesanal.

La figura N° 63, se observa la diferencia en resistencia a compresión entre el adobe crudo y cocido, presentando valores parecidos en resistencia a compresión de pilas, llegando a ser que las unidades de adobe cocido superan en 5 veces el valor de resistencia de las unidades de adobe crudo.

En este ensayo se fijó los parámetros de presión de compactación, la cual es de 0 MPa y contenido de humedad, lo que hizo que la mezcla sea la misma para ambos tipos de muestras, así también el tipo de suelo es el mismo, la variante es que en la última etapa de su fabricación la cual corresponde al secado, el adobe cocido fue llevado a un horno de quemado, expuesto a temperaturas de cocción entre 1000-1200 °C, proceso en el cual las arcillas se vitrifican internamente en la matriz de adobe, otorgándole mayor dureza y resistencia al material.

Se debe tomar en cuenta que los valores obtenidos, vienen de un promedio de tres ensayos a la unidad y estos valores fueron representados en la gráfica.

Se observa observar que los valores obtenidos en resistencia a la unidad son similares a los valores de resistencia en prismas para el adobe crudo, lo mismo que para el adobe cocido, manteniéndose así la relación de 1 a 5 en resistencias a compresión, para el material crudo y cocido respectivamente.

4.3. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL ADOBE COMPACTADO, ADOBE CONVENCIONAL y LADRILLO COMÚN.

4.3.1. RESULTADOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES COMPACTADOS

El análisis de la conductividad térmica de adobes compactados en función a la presión de compactación para Concentraciones de cemento (Wc%) constantes. dieron como resultados los siguientes valores, los cuales se reportan en las siguientes gráficas.

Se considera que cada valor en la tabla representa el promedio de 30 valores tomados por punto de medición, asumiendo que cada tipo de adobe tuvo de 3 a 4 puntos de medición considerados en la cara frontal y lateral de la muestra de adobe.

TABLA 70. Valores de Conductividad térmica de adobes compactados en función a la Presión de compactación para un Wc%: 0%.

Conductividad térmica de adobes compactados a un Wc: 0%	
Pc (MPa)	k (W/mk)
0	0.09531
0.62	0.11733
1.86	0.13288
3.1	0.17768
3.72	0.20159
4.34	0.19551
4.96	0.19134

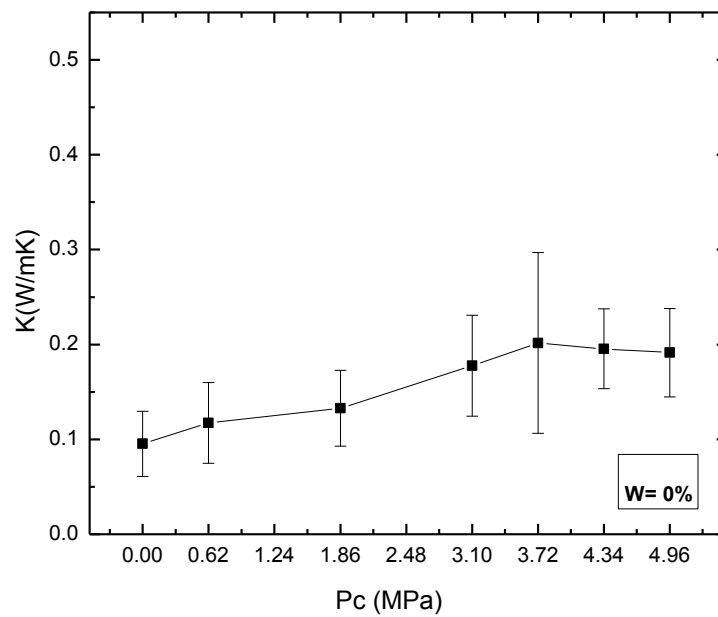


FIGURA 64. Conductividad térmica en función a la presión de compactación para un Wc%:0%.

TABLA 71. Valores de Conductividad térmica de adobes compactados en función a la Presión de compactación para un Wc%: 10%.

Conductividad térmica de adobes compactados a un Wc: 10%	
Pc (MPa)	k (W/mk)
0	0.1502
0.62	0.15964
1.24	0.18345
1.86	0.32895
2.48	0.22967
3.1	0.22271
3.72	0.21856
4.34	0.2092
4.96	0.20343

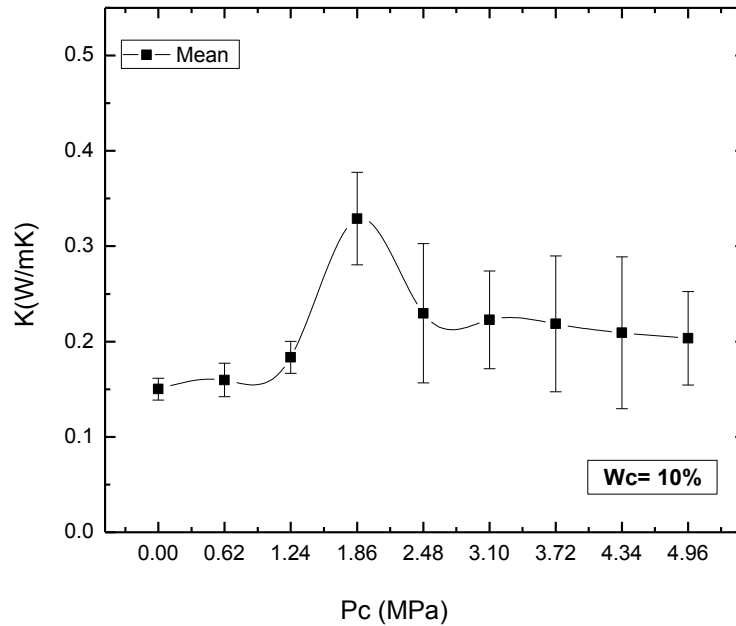


FIGURA 65. Conductividad térmica en función a la presión de compactación para Wc%:10%.

TABLA 72. Valores de Conductividad térmica de adobes compactados en función a la Presión de compactación para un Wc%: 20%.

Conductividad térmica de adobes compactados a un Wc: 20%	
Pc (MPa)	k (W/mk)
0	0.11603
0.62	0.14209
1.24	0.36771
1.86	0.40598
2.48	0.31693
3.1	0.27864
3.72	0.27292
4.34	0.24035
4.96	0.21575

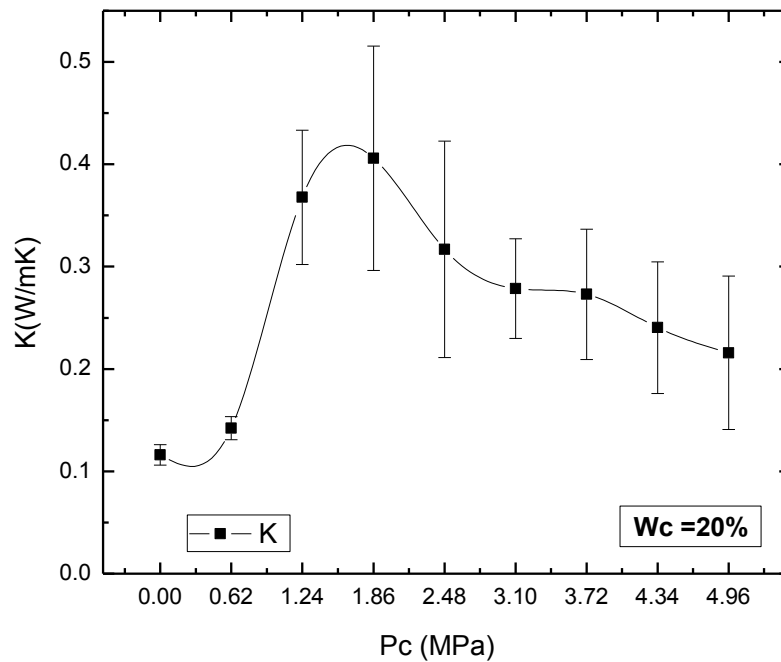


FIGURA 66. Conductividad térmica en función a la presión de compactación para Wc%:20%.

TABLA 73. Valores de Conductividad térmica de adobes compactados en función a la Presión de compactación para Wc%: 0, 10, 20%.

Pc (MPa)	Conductividad térmica en función a la presión de compactación (W/mk)		
	0%	10%	20%
0	0.09531	0.1502	0.11603
0.62	0.11733	0.15964	0.14209
1.24	0.1234	0.18345	0.36771
1.86	0.13288	0.32895	0.40598
2.48	0.1544	0.22967	0.31693
3.1	0.17768	0.22271	0.27864
3.72	0.20159	0.21856	0.27292
4.34	0.19551	0.2092	0.24035
4.96	0.19134	0.20343	0.21575

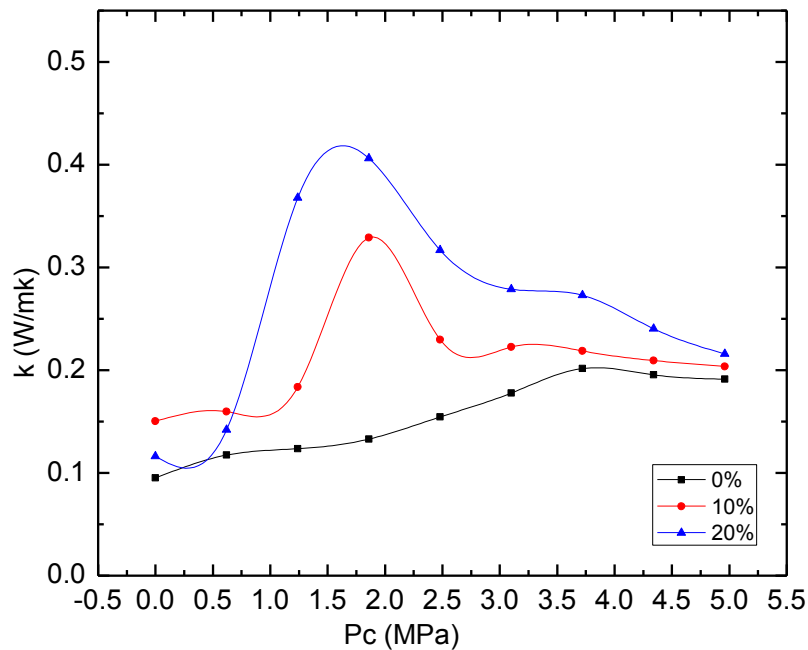


FIGURA 67. Conductividad térmica de adobes compactados en función a la presión de compactación para concentraciones de cemento Wc%: 0, 10, 20%.

En la figura 66, cada línea de color representa una serie de cemento correspondientes al 0, 10 y 20%, estas mediciones se hicieron a los puntos extremos y medios dentro del rango del 0 al 20%.

Se observa una clara tendencia al alza del valor de conductividad a medida que aumenta la presión de compactación de fabricación. Se observa el aumento de la conductividad térmica por elevación de la densidad, dicha elevación en su P_c hace que se pierda el agua intersticial, aquella que forma puntos de contacto entre partículas, las cuales mejoran el contacto térmico, al perderse esta agua debido a la presión de compactación se pierde también el contacto térmico lo que deviene en una baja de la conductividad térmica, demostrándose así que el efecto del aumento de densidad es menor en comparación con el efecto de la presencia de agua.

Se visualizan picos o puntos elevados para cada línea correspondiente a cada serie de cemento, la cual corresponde al punto máximo de conductividad para una presión de compactación dada dentro de su serie de cemento; así también se refleja una caída en el valor de conductividad y una aparente estabilización. . La densidad aparente tiene un efecto significativo sobre la conductividad térmica.

4.3.2. RESULTADOS DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE ADOBES COMPACTADOS

Se presentan los resultados de las mediciones hechas a unidades de probetas compactadas, considerando a probetas que corresponden a la concentración del 0% cemento y contenido de humedad 12.7% en peso, la cual corresponde a la mezcla de adobes compactados fabricados al 0% Cemento; nótese que existen más puntos de presión de compactación, debido a que se prefirió hacer un análisis más fino en la escala de Presiones, por ende la presión es más adecuada, presentándose valores más exactos.

4.3.2.1. Pérdida de agua en función al tiempo (medido cada 12 horas)

Se realizó el registro de la pérdida de agua de las probetas compactadas en función al tiempo (c/12 horas), se tomaron las dimensiones para cada probeta, se pesan y miden y se hacen un seguimiento de pesos, para ver cuánto peso pierden en el transcurso del tiempo, las mediciones se hacen cada 12 horas, hasta que el registro de pesos se mantenga estable en el tiempo. Los resultados en peso se observan en la siguiente tabla N°77.

TABLA 74. Pérdida de agua en probetas compactadas en función al tiempo.

Configuración: Probetas compactadas - Pérdida de agua en peso (%) c/12h																						
fecha de medición	Tiempo (c/12h)	Presión de compactación (Mpa)																				
		0	0.15	0.31	0.46	0.62	0.77	0.93	1.24	1.55	1.86	2.16	2.48	2.78	3.1	3.39	3.72	4.03	4.18	4.34	4.49	4.64
17/07(1)	0h	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
18/07(1)	12h	1.40	1.99	1.55	1.94	1.94	1.98	2.34	1.55	1.38	1.29	1.29	1.34	1.59	1.34	1.51	1.88	1.88	1.67	1.57	1.43	1.57
18/07(2)	24h	3.29	5.03	4.28	4.65	4.47	4.83	5.63	4.10	3.72	3.57	3.66	3.93	4.80	4.21	4.52	3.08	2.99	2.90	3.05	3.18	3.46
19/07(1)	36h	5.44	6.21	5.45	5.82	5.69	6.10	7.06	5.22	4.69	4.49	4.67	4.91	6.12	5.43	5.64	4.78	4.78	4.61	4.95	5.22	5.75
19/07(2)	48h	7.73	7.71	6.98	7.31	7.27	7.70	8.84	6.69	5.96	5.81	5.85	6.33	7.81	7.02	7.18	6.40	6.35	6.32	6.97	7.01	7.75
20/07(1)	60h	9.61	8.86	8.45	8.69	8.66	9.29	10.31	8.06	7.32	7.11	7.25	7.75	9.31	8.45	8.91	7.92	7.77	7.84	8.61	8.40	9.16
20/07(2)	72h	11.62	10.28	9.81	9.86	9.82	10.47	11.19	9.36	8.72	8.45	8.49	9.04	10.49	9.77	10.08	9.53	9.48	9.45	9.84	9.72	10.25
21/07(1)	84h	12.35	10.95	10.69	10.83	10.59	11.25	11.61	10.34	9.78	9.51	9.50	10.07	11.11	10.49	10.96	10.20	10.15	10.02	10.36	10.18	10.56
21/07(2)	96h	12.94	11.64	11.58	11.57	11.37	11.83	11.98	11.12	10.93	10.65	10.69	10.95	11.64	11.12	11.64	10.88	10.83	10.70	10.78	10.65	11.03
22/07(1)	108h	13.10	11.80	11.74	11.78	11.58	12.04	12.03	11.38	11.19	10.96	11.00	11.21	11.74	11.33	11.85	11.04	11.04	10.80	10.88	10.76	11.08
22/07(2)	120h	13.26	11.95	12.00	12.04	11.85	12.20	12.14	11.70	11.61	11.38	11.42	11.53	11.90	11.54	12.23	11.25	11.25	11.01	11.04	10.86	11.19
23/07(1)	132h	13.31	12.06	12.06	12.20	11.95	12.25	12.24	11.75	11.72	11.54	11.58	11.63	12.01	11.59	12.23	11.30	11.35	11.17	11.15	11.02	11.30
23/07(2)	144h	13.37	12.17	12.16	12.31	12.06	12.36	12.30	11.91	11.93	11.75	11.79	11.85	12.06	11.64	12.28	11.41	11.46	11.27	11.20	11.07	11.35
24/07(1)	156h	13.42	12.22	12.21	12.36	12.11	12.36	12.35	11.91	12.04	11.86	11.95	11.95	12.22	11.70	12.33	11.51	11.51	11.33	11.20	11.13	11.35
24/07(2)	168h	13.48	12.22	12.27	12.42	12.11	12.41	12.35	11.96	12.09	11.91	11.95	11.95	12.17	11.75	12.33	11.51	11.57	11.33	11.25	11.13	11.35
25/07(1)	180h	13.48	12.22	12.32	12.47	12.11	12.41	12.35	12.01	12.09	12.02	12.11	12.01	12.22	11.75	12.39	11.51	11.57	11.38	11.31	11.13	11.35
25/07(2)	192h	13.48	12.27	12.32	12.47	12.17	12.41	12.35	12.01	12.15	12.02	12.11	12.01	12.27	11.80	12.39	11.51	11.57	11.38	11.31	11.13	11.35
26/07(1)	204h	13.48	12.27	12.32	12.47	12.17	12.41	12.35	12.01	12.20	12.02	12.17	12.11	12.27	11.80	12.44	11.51	11.57	11.38	11.31	11.13	11.35
26/07(2)	216h	13.48	12.27	12.32	12.47	12.17	12.41	12.35	12.01	12.20	12.02	12.17	12.11	12.27	11.80	12.44	11.51	11.57	11.38	11.31	11.13	11.35
27/07(1)	228h	13.48	12.27	12.32	12.47	12.17	12.41	12.35	12.01	12.20	12.02	12.17	12.11	12.27	11.80	12.44	11.51	11.57	11.38	11.31	11.13	11.35

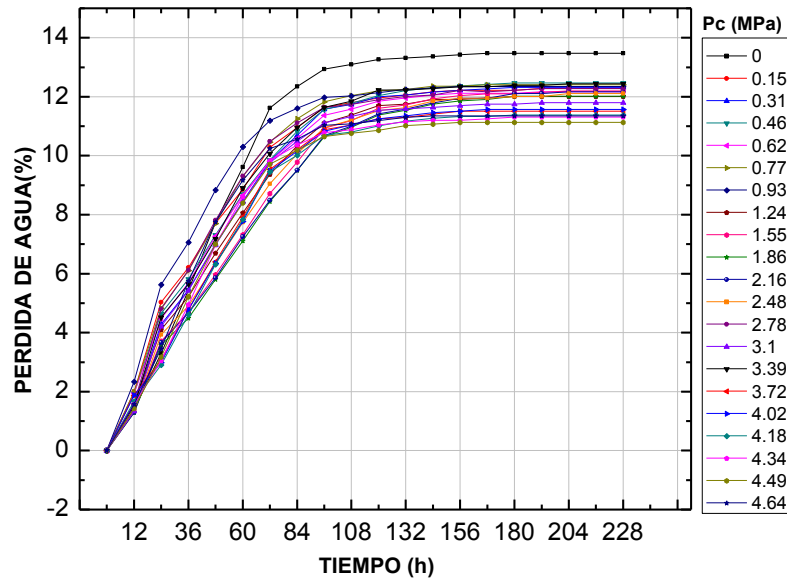


FIGURA 68. Pérdida de agua (%) en función al tiempo, medida cada 12 horas, se visualizan para todas las presiones de compactación

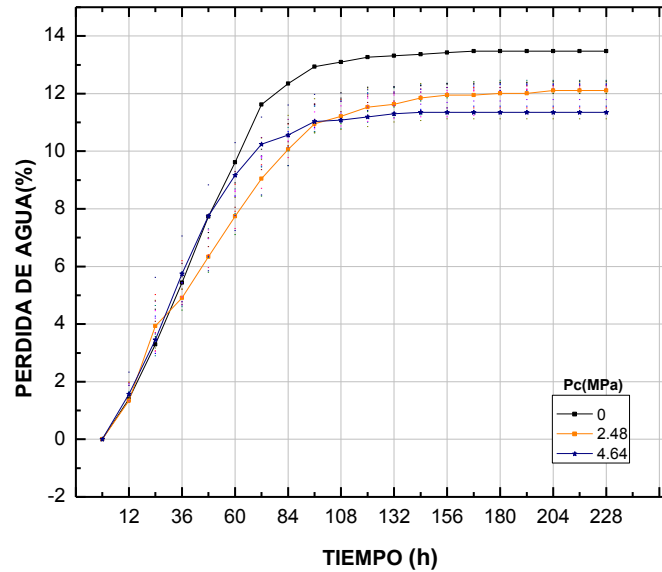


FIGURA 69. Pérdida de agua en función al tiempo, medida cada 12 horas, se visualizan para el máximo, mínimo y medio de las presiones de compactación.

Pérdida de agua en función al tiempo para todas las P_c , tomado cada 12 horas, se visualiza en la siguiente figura N^o 70, la pérdida de agua a partir de las 84 horas, tiempo donde empieza a estabilizarse en peso, hasta las 180 horas donde a partir de ese tiempo los pesos se hacen constantes y la humedad ya no presenta disminución. Se hace hincapié en las temperaturas ambiente a las que fueron expuestas las probetas en los días de secado 25^oC – 27.5^oC y humedad relativa ambiental de 65% - 75%.

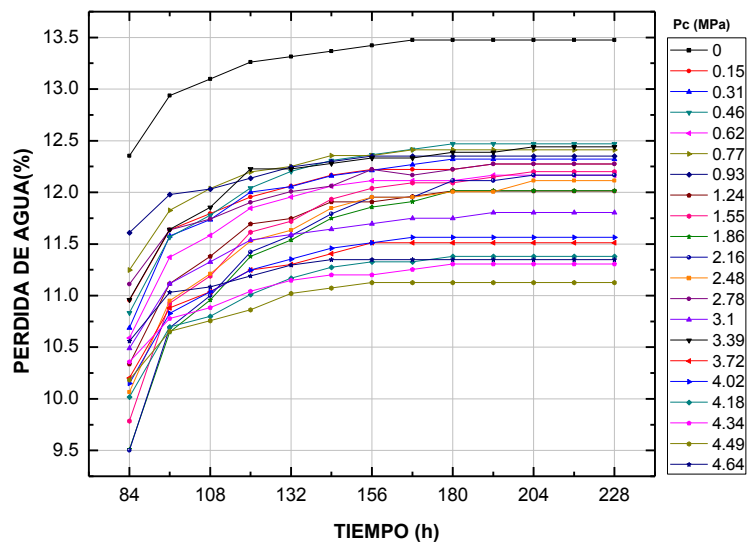


FIGURA 70. Pérdida de agua en función al tiempo, medida cada 12 horas, se visualiza la estabilización a partir de las 84 horas.

4.3.2.2. Densidad en función de la presión de compactación

Cuando la humedad de las probetas se hizo constante al verificar que se mantiene un peso al no evaporarse más contenido de agua. Se hacen las respectivas mediciones para obtener la densidad de las muestras en función a la presión de compactación.

La estabilización higroscópica se realizó a los 10 días de fabricado cuando se comprobó que ya no pierde más humedad y se mantiene un peso constante, la balanza usada tiene un error 0.1g, se observa también que la máxima densidad se da a 2015.13 Kg/m³ y se obtiene a una Pc de 4.48 MPa.

Se observa en la tabla siguiente los resultados obtenidos:

TABLA 75. Densidad seca de probetas compactadas en función a la presión de compactación.

Densidad de probetas en función a la Presión de compactación (Pc)					
Fuerza de compactación Fc (Ton) en adobes	Pc (Mpa) equivalente aplicada en probetas	Altura (mm)	Diametro (mm)	Masa(g)	Densidad seca (Kg/m3)
0	0	111.6	37.4	210	1712.86
0.5	0.15	108.18	37.4	210.2	1768.69
1	0.31	107.8	37.4	210.2	1774.92
1.5	0.46	106.58	37.4	210.1	1794.39
2	0.62	104.25	37.4	210.4	1837.11
2.5	0.77	103.09	37.4	210.3	1856.90
3	0.93	102.26	37.4	210.5	1873.75
4	1.24	100.02	37.4	210.6	1916.63
5	1.54	98.71	37.4	209.1	1928.23
6	1.85	97.8	37.4	209.7	1951.76
7	2.16	97.3	37.4	209.6	1960.85
8	2.47	97.19	37.4	209.7	1964.01
9	2.78	98.22	37.4	210.3	1948.97
10	3.09	96.34	37.4	209.8	1982.28
11	3.40	96.97	37.4	210.1	1972.22
12	3.71	96.26	37.4	210.1	1986.76
13	4.02	96.34	37.4	210.3	1987.00
13.5	4.17	95.5	37.4	210	2001.62
14	4.33	95.23	37.4	209.7	2004.43
14.5	4.48	94.86	37.4	210	2015.13
15	4.63	94.89	37.4	209.8	2012.57

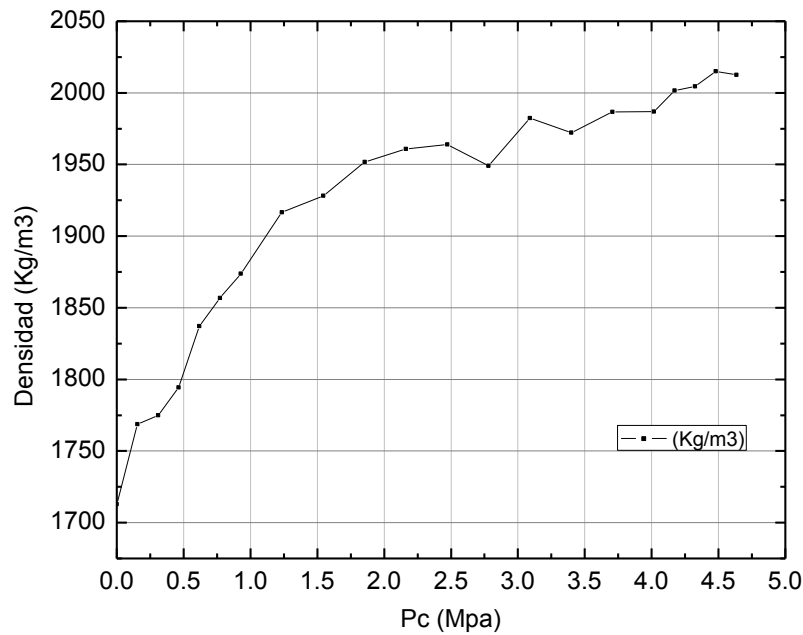


FIGURA 71 Densidad de probetas compactadas en función a la Presión de compactación.

La figura N^o 71 refleja el aumento de la densidad según aumenta la presión de compactación, se hace presente que todas las muestras verificadas parten de una misma mezcla y contenido de humedad, sin la adición de conglomerantes, fijando así el parámetro del Wc% y siendo móvil la presión de compactación, viéndose así que la densidad depende del grado de compactación del material, esta le otorga rigidez y durabilidad a la unidad de albañilería.

4.3.2.3. Difusividad en función a la presión de Compactación

Se presenta la tabla que resume los valores obtenidos en difusividad según las formulas aplicadas para cada caso de Alfas[114], simplificado y teórico, estos devienen del cálculo de los desfasajes y las amplitudes tomadas de las gráficas recogidas por el software Temp Monitor, se observa en la tabla que la mayor difusividad presentada se encuentra cuando la unidad es fabricada a una Pc de 1.85 MPa.

En la tabla se muestran más valores de presiones, debido a que se utilizó una prensa de mayor resolución para fabricación de probetas testigo.

TABLA 76. Difusividad de probetas compactadas en función a la presión de compactación.

DIFUSIVIDAD EN FUNCION A LA PRESION DE COMPACTACIÓN				
Pcompct (Pc)	ALFA simplif	ALFA teórico	ALFA simplif	ALFA teórico
(MPa)	(m2/s) *10E-7		(m2/s)	
0	3.68	2.48	3.68E-07	2.48E-07
0.15	3.91	2.80	3.91E-07	2.80E-07
0.46	3.88	3.07	3.88E-07	3.07E-07
0.62	3.89	3.64	3.89E-07	3.64E-07
0.93	4.24	3.67	4.24E-07	3.67E-07
1.24	4.47	3.75	4.47E-07	3.75E-07
1.85	7.18	5.37	7.18E-07	5.37E-07
2.16	6.41	5.14	6.41E-07	5.14E-07
2.47	5.53	5.14	5.53E-07	5.14E-07
2.78	6.35	5.17	6.35E-07	5.17E-07
3.09	5.44	4.96	5.44E-07	4.96E-07
3.40	5.28	5.18	5.28E-07	5.18E-07
3.71	5.50	4.78	5.50E-07	4.78E-07
4.02	5.98	4.93	5.98E-07	4.93E-07
4.17	5.56	4.78	5.56E-07	4.78E-07
4.33	5.30	5.20	5.30E-07	5.20E-07
4.63	4.99	5.18	4.99E-07	5.18E-07

En la siguiente figura se observa el valor de la difusividad para cada punto que representa una presión de compactación creciente, se observan la existencia de los Alfas: el alfa simplificado que no toma en cuenta las pérdidas por radiación y el Alfa teórico que si toma en cuenta las perdidas por Radiación, de estos el que se considera; es el alfa teórico por ser un valor más cercano a lo real.

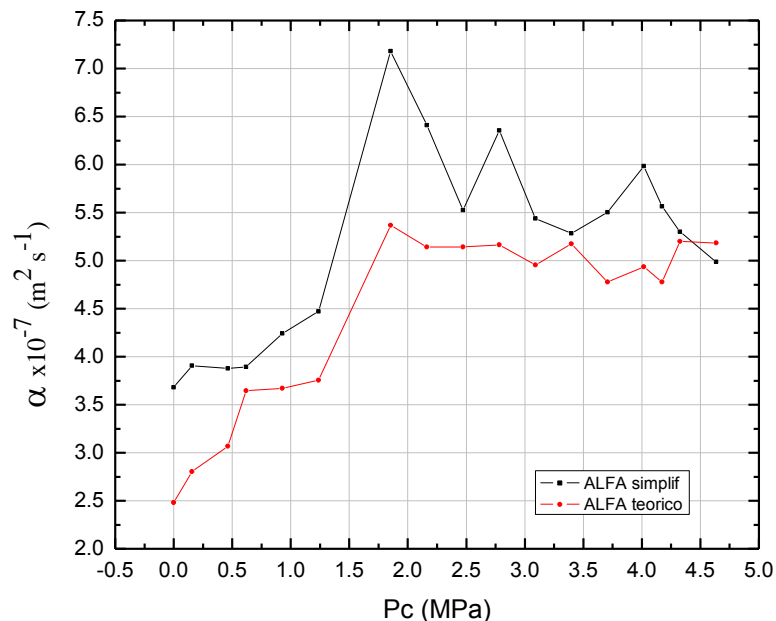


FIGURA 72 Difusividad de probetas en función a la Presión de Compactación, valor teórico y simplificado.

Se observa que la difusividad aumenta a medida se eleva la Presión de compactación, y se verifica que a una presión de compactación de 1.85 MPa empieza a mantenerse constante el valor de la difusividad obtenido, siendo así que a medida se aumente la presión de compactación, la difusividad ya no aumenta, incluso baja y presenta subidas tratando de mantenerse constante.

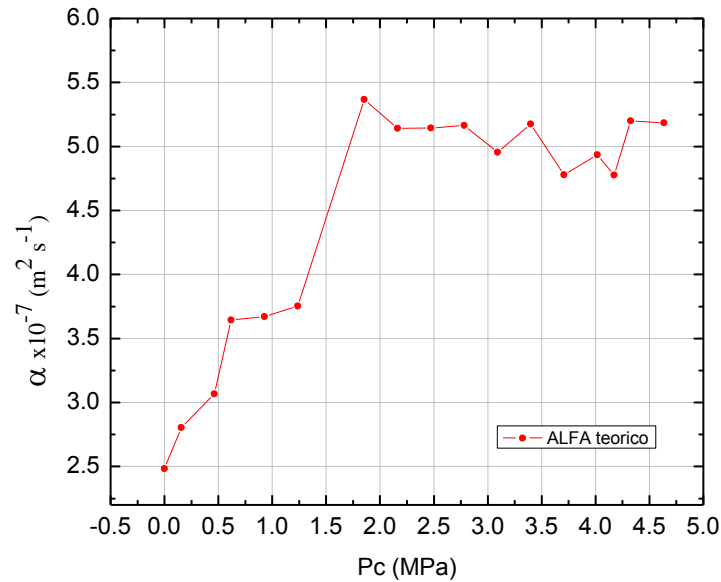


FIGURA 73. Difusividad de probetas en función a la Presión de compactación, valor teórico.

4.3.2.4. Cálculo del espesor del muro en función al tipo de adobe compactado, y Presión de Compactación (Pc).

Para este cálculo se dispuso que las muestras tenían que medirse a un tiempo y razón de aumento de 20 minutos, usando los datos del desfase obtenidos para cada tipo de adobe, se puede hallar el espesor del muro en función al desfase y tipo de adobe compactado; se pudo lograr obtener datos en función al tiempo, para cada muestra de adobe compactado, según su desfase y su *espesor de muro*.

La Figura 74 permite obtener valores de espesor de muro en función al tiempo de desfase que se desee y en función al tipo de adobe compactado.

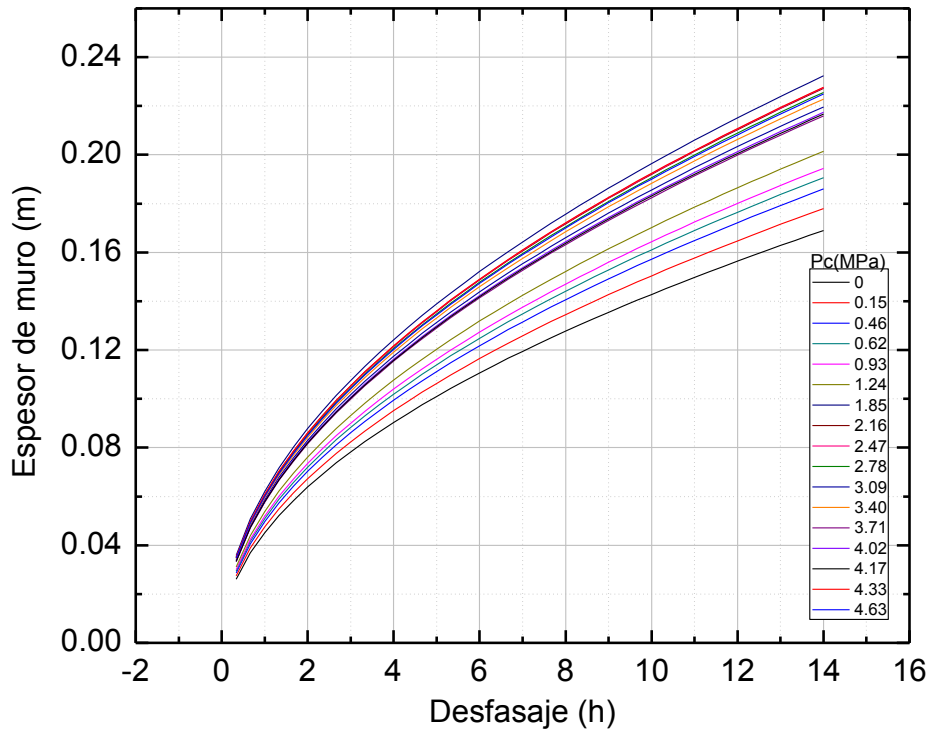


FIGURA 74. Espesor de muro en función al desfasaje y tipo de adobe compactado.

La Difusividad térmica del adobe compactado, permite predecir el desfasaje de tiempo que tardaría el calor en fluir de un punto a otro, para un determinado tipo de adobe. En la figura N° 74 se expresa la curva Espesor de muro vs Desfasaje, la cual tiene el mismo comportamiento para diferentes presiones de compactación (P_c), Para un desfasaje determinado a medida que se aumenta la Presión de Compactación el espesor de muro también aumenta.

Se puede considerar los siguientes valores de desfasaje deseables, para un determinado espesor de muro, según usos y costumbres de un habitante rural en la siguiente tabla:

TABLA 77. Espesor de muro en función al desfasaje promedio para una vivienda rural andina.

Desfasaje (h)	Espesor del muro (m) en función a la P_c		
	P_c (MPa)		
	0	1.85	4.63
8	0.13	0.17	0.17
10	0.145	0.2	0.19
12	0.16	0.22	0.21
14	0.17	0.23	0.22

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Retracción lineal del suelo.

- Los resultados obtenidos de Retracción lineal dan un 4%, por lo que se debe realizar la estabilización del suelo con cemento, según el “cuadro de zonas preferenciales de Estabilización; en función de la Plasticidad” (UNE 41410).

Características fisicoquímicas del suelo.

- Los parámetros de Cloruros y Sales solubles que presentó el suelo en estudio dan un valor entre 216 - 4334 ppm, estos se encuentran dentro de los límites permitidos,
- El parámetro de contenido de Sulfatos presenta un valor de 3921 ppm, es moderadamente elevado, definiendo al suelo de Huachipa como un suelo agresivo por ataque químico de sulfatos; sin embargo se utilizó el Cemento Portland tipo I, debido a que aun cuando el suelo presente esta característica no estará en contacto con tuberías o estructuras metálicas.
- El suelo de Huachipa fue usado para fabricación de bloques compactados. Denominándose material de canteras.

Características geotécnicas del suelo

Los ensayos de caracterización de suelos realizado a las 3 muestras de suelo dieron como resultado de sus granulometrías:

- Muestra 1 (Chorrillos): Gravas: 2.6%; Arena: 69.1%; Limo: 25.1% y Arcilla: 3.2%;
- Muestra 2 (Huachipa): Gravas: 0%; Arena: 32.3%; Limo: 51.71% y Arcilla: 15.99%;
- Muestra 3 (Manchay): Gravas: 3.1%; Arena: 69%; Limo: 24.9% y Arcilla: 3%;

Clasificación de suelos por el sistema unificado SUCS:

- Muestra 1 y 3: tipo de suelo SC, Arena arcillosa
- Muestra 2: tipo de suelo CL, Arcilla de baja plasticidad.

Clasificación de suelos por el sistema unificado ASSHTO:

- Muestra 1 y 3: Tipo de suelo A-2-4(0), considerado material granular: Arenas, suelo excelente para uso en subrasante
- Muestra 2: Tipo de suelo A-6(7), Suelo arcilloso; suelo regular para uso en subrasante.
- El suelo adecuado como materia prima para fabricación de adobes será la muestra

2 (Huachipa) ya que permite la fabricación de los adobes convencionales y compactados, debido al mayor contenido de arcillas, el cual replica condiciones de sitio similares al suelo de la serranía altoandina.

Caracterización mineralógica:

- La caracterización mineralógica a nivel cuantitativo por método Rietveld, identificó a feldespatos como labradorita y Cuarzo en mayor grado corresponden al 39.7 y 19.9% respectivamente, aportan consistencia y resistencia mecánica al material.
- Se identificó silicatos como la Moscovita (mica alumínica) y el Clinoclore 14.4 y 2.79% respectivamente; Arcillas como la Mortmorilonita y Vermiculita 0.39 y 0.16% respectivamente; aportan plasticidad al suelo cuando están en contacto con el agua, un exceso puede producir agrietamiento y demasiada retracción.
- El Análisis de Difracción de Rayos X demuestra que la tierra perteneciente a Huachipa contiene minerales que le dan características de cohesión y plasticidad, debido a las arcillas existentes en ella, le dan el armazón de soporte y resistencia, se identificaron minerales tales como el cuarzo y feldespato (Labradorita).

Resistencia a Compresión y Flexión de unidades fabricadas.

- De acuerdo a los resultados obtenidos la presión de compactación y la adición de cemento aumentan la resistencia a la compresión.
- Los parámetros Optima presión de compactación OP_c y $W_c\%$, se relacionan, no son variables independientes, presentan una relación lineal con pendiente negativa. Se afirma que el aumento de cemento ($W_c\%$) es inverso a la Optima presión de compactación (OP_c) y directo a la máx. resistencia a compresión (MF_b).
- Todos los tipos de bloques compactados cumplen con los requerimientos de Resistencia a la Compresión de unidades, de la Norma de Adobe E.0.80, la cual exige un valor mínimo de 12kg/cm^2 ; presenta resultados entre los 10 hasta los 122kg/cm^2 , logrando superar valores de resistencia a compresión de otras unidades de albañilería como ladrillos, bloques no portante y bloques de concreto.
- La Resistencia a compresión de los bloques fabricados se encuentran en el rango de 1 a 12 MPa; los que se encuentran entre 1.3 a 3 N/mm^2 equivalentes a MPa son bloques de baja resistencia, los que oscilan entre 5MPa son bloques de mediana

resistencia, y superiores a estos valores, son considerados, “Bloques de tierra compactados de alta resistencia” según “*Valores de Resistencia normalizada a compresión para bloques de tierra compactada*” (UNE).

- Los valores de módulo de ruptura que presentan los bloques compactados se encuentran entre 4.52 a 12.26 kg/cm², cuyos valores alcanzados son similares y logran superar otras unidades como el ladrillo tipo I, tipo II, Tipo III, tipo IV y Tipo V según ITINTEC 331.017.
- El contenido de humedad aportado, tiende a ser más eficiente en una mezcla de tierra-cemento que en una mezcla de tierra, a menos que, esta mezcla tierra-agua fuese compactada.

Resistencia a Compresión de muros de albañilería de adobes compactados

- Los prismas de adobe compactado presentan como resultado, los siguientes esfuerzos de compresión último en prismas (f'_m) 18 ; 38.7; 66.7 y 77.7 kg/cm²; para las serie de porcentajes de cemento 5, 10, 15 y 20% respectivamente, fabricados a una fuerza de Compactación aplicada de 600kgf., equivalente a la presión de Compactación de 1.86 MPa.
- Para todos los casos el mortero tuvo un tiempo de madurez de 28-30 días.
- Existe un aumento gradual de resistencias en prismas, debido al aumento en el porcentaje de cemento, esto también se refleja en los parámetros de “Resistencia última de la pila (f'_m)”, “Resistencia a compresión de la albañilería (f_m)” y la “Resistencia a compresión por aplastamiento ($1.25 f_m$)”, todos superan el valor mínimo sugerido por la norma del adobe, el cual exige un mínimo de 2 kg/cm² (NTE080).

Resistencia a Compresión de muros de albañilería de adobe convencional y adobe convencional cocido (ladrillo artesanal).

- Los prismas de adobes artesanales crudos y cocidos, tuvieron las siguientes *esfuerzos de compresión (f'_m)* de 13.3 y 78 kg/cm² respectivamente, cuya Fuerza de Compactación aplicada es 0 kgf, equivale a una presión de Compactación nula.
- Existe una clara diferencia entre la muestra de adobe crudo y adobe cocido, los prismas elaborados de adobe cocido presentan *6 veces el valor de la resistencia del prisma de adobe crudo*.
- En todos los casos se supera el valor de esfuerzos admisibles mínimos según la norma del adobe, el cual exige un mínimo de 2 kg/cm² (NTE080).

- El prisma fabricado de adobe crudo presenta una resistencia de 13.3 kg/cm², mientras que para el prisma de adobe cocido, llamado ladrillo artesanal, presenta un aumento de 6 veces su valor, siendo 78 kg/cm².

Resistencia a Compresión de unidades de adobe convencional crudo y cocido (ladrillo artesanal).

- Los resultados de Resistencia a compresión de unidades de adobe crudo y cocido, presentan en promedio los valores de 15.06 y 76.16 kg/cm² respectivamente.
- Las unidades de adobe cocido superan en 5 veces el valor de resistencia de las unidades de adobe crudo.

Conductividad térmica de adobes compactados

- La conductividad térmica de adobes compactados presenta valores que oscilan entre 0.095 - 0.405 W/mk, a medida que la presión de compactación aumenta, se eliminan agua y aire, lo que deviene finalmente en una disminución de la conductividad térmica, se demuestra que el efecto del aumento de densidad es menor en comparación con el efecto de la presencia o *pérdida de agua*.
- Se considera el análisis de series de cemento cuyos puntos extremos y medio corresponden al 0, 10 y 20%, esto es debido al término del agente de contacto utilizado para medición de conductividad.
- Los valores de conductividad térmica presentan una tendencia a la estabilización, en donde el posible aumento de la presión de compactación no genera cambios en el valor de conductividad, esto queda supeditado a futuras investigaciones.

Densidad de adobes compactados

- En la Figura 71, se observa la curva del incremento de densidades en función a la presión de compactación, presentando un rango de 1713 a 2016 kgm⁻³, Valores considerados altos en comparación con otras unidades de albañilería como el ladrillo industrial, ladrillos tipo I al tipo V, cuyas densidades varían desde 1500 a 1700 kgm⁻³ (NTE.070, 2006).
- Estas unidades resultan ser más densas que otras unidades de albañilería como los adobes convencionales cuya densidad oscila entre los 1650 kgm⁻³ (Heathcote, K. 2011), con la ventaja de ser livianos, simétricos, regulares y de mayor resistencia.

Difusividad térmica de adobes compactados

- Se implementó un sistema de medición de difusividad térmica usando el método de Angström, el cual puede aplicarse para medir la difusividad térmica en materiales complejos aislantes como el adobe.
- Se midieron los Coeficientes de Difusividad Térmica de 17 barras de adobe compactado cuyos valores se incrementan desde $2,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ hasta $5,37 \times 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, cuando la tierra se compacta de 0 a 1,9 MPa.
- La difusividad térmica aumenta al inicio rápidamente con el aumento de la densidad hasta un máximo y después decrece, esto se explica por el aumento en la compactación y la prevalencia de partículas de agua en su matriz, llegado a la presión de compactación de 1.86 MPa, presenta el valor más alto de difusividad de $5.37 \text{ E-}07 \text{ m}^2/\text{s}$, Seguido a ello presenta una baja, debido a la pérdida de agua causada por el aumento de la Pc y una posible estabilización de la difusividad, parece ser que a medida se aumente la Pc.

Espesor del muro en función al Desfasaje y Presión de compactación

- Para un desfasaje deseable de 8 horas; el espesor de muro que corresponde a la menor Difusividad térmica (cuando la tierra se compacta a 0 MPa) es 13 cm, mientras que para la mayor Difusividad térmica (cuando se compacta a 1.85 MPa) el espesor de muro es 17 cm.
- Para un desfasaje deseable de 10 horas; el espesor de muro que corresponde a la menor Difusividad térmica (cuando la tierra se compacta a 0 MPa) es 14.5 cm, y para la mayor Difusividad térmica (cuando se compacta a 1.85 MPa) el espesor de muro es 20 cm.
- El conocer el desfasaje térmico del material tierra compactado, permite ser usado en zonas rurales cuyas condiciones climáticas presentan oscilaciones térmicas día-noche e invierno-verano e importante incidencia de radiación solar, lo cual es óptimo para el buen funcionamiento del retardo amortiguación de la onda térmica, por lo que se podría elaborar a futuro módulos experimentales de vivienda usando este tipo de unidades.

- Los valores numéricos que se obtienen de la medición de Conductividad y Difusividad térmica nos sirven para conocer el material tierra, pero conocer las características térmicas del material, no bastan para afirmar que una construcción con tierra ahorre más energía que otra construida con materiales convencionales, además se tendrá que conocer la orientación, disposición de masas y huecos, etc., para tener una optimización energética de la vivienda.
- La tierra como tal no es buen aislante térmico pero es capaz de regular la temperatura y la humedad en el interior de las edificaciones y viviendas, por lo que no se busca un aislante sino que su envolvente sea un acumulador de energía a través de la masa de sus muros y que produzca un retardo de la onda térmica que se interna en la edificación o vivienda. Debido a este fenómeno conocido como inercia térmica de cerramientos el edificio gana de forma pasiva condiciones de bienestar para sus usuarios, es decir se logra el confort higrotérmico sin recurrir a gastos de energía adicional.

CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES

Resistencia mecánica de adobes

- Utilizar el material tierra empleado, como material de canteras para la fabricación de unidades de adobes, más no como material de asentamiento y fundación, a menos que se considere un método constructivo adecuado.
- Determinar una escala de presiones de compactación en base al procedimiento Proctor utilizado, a fin de determinar humedades diferentes para un mismo tipo de suelo.
- Elaborar un ábaco predictivo que vincule la Optima Presión de compactación (OPc) y el Porcentaje de Cemento (Wc%) para el tipo de suelo en estudio variando humedades y tipos de suelo, de acuerdo al emplazamiento donde se quiera aplicar la metodología.
- Se debe hacer a futuro una impermeabilización de caras expuestas a humedad o intemperie a las unidades fabricadas, así también el adecuado uso en los métodos constructivos, usado en la construcción de viviendas: aleros para protección de lluvias y uso de sobrecimientos o zócalos a fin de evitar la ascensión de agua por capilaridad.

Conductividad térmica

- Adquirir el agente de contacto utilizado para medición de conductividad con el fin de continuar las investigaciones para otros materiales constructivos locales y de uso comercial.

Sistema de difusividad térmica:

- El Termómetro digital utilizado permite el registro de temperaturas sólo en dos puntos, se recomienda la adquisición de otro equipo que disponga de más canales, para realizar la medición simultanea de varios puntos.
- Se recomienda el uso de una extensión en paralelo adaptada a la salida de la fuente de poder Kepco, con el fin de alimentar varias lámparas a la vez, para calentar muestras simultáneamente, lo que ahorraría tiempo de medición.

Líneas de investigación

- Quedan abiertas líneas de investigación que consideren la influencia del agua en los parámetros de Conductividad y Difusividad térmica.
- Se sugiere el estudio de las propiedades de la tierra como material de construcción en sus diversos tipos constructivos, básicamente el estudio de propiedades térmicas e higrotérmicas, para la bioclimatización de viviendas en climas templados y calurosos.
- También se sugiere investigar y determinar los parámetros térmicos en el campo de otros materiales constructivos convencionales y regionales.
- Realizar investigaciones de adobes compactados con otros tipos de agentes estabilizantes.

VII. REFERENCIAS

- [1] Shady Solís, Ruth Martha, *La ciudad sagrada de Caral-Supe en los albores de la civilización en el Perú.*, 1era ed., vol. 1, 1 vols. Lima: Fondo Editorial, UNMSM, 1997.
- [2] H. I. Tsai, «Adobes y la organización del trabajo en la costa norte del Perú», *Transl. Am.*, vol. 2, n.º 20170719, p. 45, ene. 2015.
- [3] INEI, «En más de 3 millones de viviendas predominan paredes de materiales vulnerables a movimientos telúricos.», n.º 658, p. 2, 2014.
- [4] I. Moromi Nakata, «Gestión del Riesgo: metodología para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones de Adobe a Nivel Local», *Univ. Nac. Ing.*, 2012.
- [5] D. La Torre Esquivel, «Desarrollo de la construcción de viviendas de adobe sísmicamente reforzadas en el Perú», *Pontif. Univ. Católica Perú*, jun. 2017.
- [6] I. W. S. Berrios y L. Z. Ciquero, «Ensayos sobre simulación sísmica en dos módulos de adobe y quincha de dos pisos.», SENCICO, Lima-Perú, Técnico., dic. 2006.
- [7] INEI, «PERU Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI», *Población y vivienda.*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>.
- [8] Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, «Programa nacional de vivienda rural», 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.vivienda.gob.pe/pnvr_/inicio.
- [9] «INEI, Evolución de la pobreza monetaria 2016 .
http://www.inei.gob.pe/media/cifras_de_pobreza/pobreza_2016.pdf. .
- [10] M. C. Piñeiro, «Elaboración de límites máximos permisibles de emisiones para la industria ladrillera.», Ministerio del Ambiente, Programa Regional de Aire Limpio PRAL, Perú, Informe técnico, 2010.
- [11] Galindez, Fernando, «Bloques de tierra comprimida sin adición de cemento», n.º 115, pp. 62-75, 2009.
- [12] SENCICO, «Norma Técnica E.080 Adobe.», Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, Lima, Normas legales «El Peruano» 2do, 2000.
- [13] Braja M. Das, *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.*, 2da ed., vol. I, I vols. California State University, Sacramento: Thomson Learning, 2011.
- [14] A. V. T. Carrillo y J. A. Freyre, «Determinación de la Resistencia a la Compresión en unidades de albañilería (NTP 339.613; NTP 339.064).», *Ens. Mater. Constr. Proced.*, vol. I, p. 2, 2017.
- [15] ASTM International, «ASTM D422 : Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils», p. 8, jul. 2014.
- [16] ASTM International, «ASTM D1557 : Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))», p. 14, may 2012.
- [17] ASTM International, «ASTM D2487 : Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)», p. 10, dic. 2017.
- [18] Marcial Blondet, Julio Vargas Neumann, y Daniel Torrealva, «Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas (zona de la costa)», PUCP, Lima-Perú, 2008.
- [19] Marcial Blondet, Julio Vargas Neumann, y Daniel Torrealva, «Construcción de casas saludables y sismorresistentes de adobe reforzado con geomallas (zona de la sierra).», PUCP, Lima-Perú, 2008.

- [20] Godofredo Choque R. y Julio Huamán M, «Adobes comprimidos suelo-cemento una alternativa ecológica», presentado en XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil., Chiclayo, Perú, 2009, vol. 1, p. 3.
- [21] López Gálvez, José Arturo y Bernilla Carlos, Pedro Jacinto, «“Evaluación funcional y constructiva de viviendas con adobe estabilizado en Cayalti. Programa COBE -1976”», Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, Perú, 2012.
- [22] Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, «Norma E.080. Diseño y construcción con tierra reforzada.» Diario «El Peruano», 07-abr-2017.
- [23] Jhomayra . Herrera Villa, «Modelamiento numérico del comportamiento sísmico de viviendas de mampostería con bloques de tierra comprimida.», p. 128, 2018.
- [24] Montes Galarza y Jordan Angel, «Los bloques de tierra comprimida (BTC) y su influencia en el costo de construcción de viviendas sociales en zonas de habilitación en laderas de la ciudad de Huancayo.», *Univ. Cont.*, ago. 2018.
- [25] Dr. Fernando Galíndez, «Bloques de tierra comprimida (BTC) sin adición de cemento.», *Univ. Católica Salta*, p. 46, 2007.
- [26] AENOR 2008, «Norma UNE 41410. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.», n.º 1, p. 28, 2008.
- [27] Gernot Minke, *Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual.*, 2da ed. Alemania: Fin de Siglo, 2008.
- [28] Gernot Minke, *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*, 3era ed., vol. 1, 1 vols. Alemania, 2005.
- [29] K. T. A. Medina, Ó. H. Medina, y Ó. J. G. Junco, «Bloque de tierra comprimida como material constructivo.», *Univ. Pedagog. Tecnol. Colomb.*, vol. 20, n.º 31, pp. 55-68, 2011.
- [30] R. Eires, T. Sturm, A. Camões, y L. Ramos, «Study of a new interlocking stabilised compressed earth blocks.», abr. 2012.
- [31] Pablo Mosquera Arancibia, «Medida de la conductividad térmica con el método de la aguja térmica, basado en la fuente lineal de calor transitorio, para su aplicación en los cerramientos de adobes y bloques de tierra comprimida.», Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela técnica superior de Arquitectura, España, 2013.
- [32] Juan Carlos Calderón Peñafiel, «Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia», *Univ. Politécnica Catalunya*, p. 124, sep. 2013.
- [33] Sherin H. Sameh, «Promoting earth architecture as a sustainable construction technique in Egypt.», *J. Clean. Prod.*, vol. 65, pp. 362-373, feb. 2014.
- [34] Michael Wolf y Physics Department, The College of Wooster, «Measuring Thermal Conductivity by Angstrom's Method», *Wooster Ohio 44691 USA*, p. 5, may 2016.
- [35] L. Zhang, A. Gustavsen, B. P. Jelle, L. Yang, T. Gao, y Y. Wang, «Thermal conductivity of cement stabilized earth blocks», *Constr. Build. Mater.*, vol. 151, pp. 504-511, oct. 2017.
- [36] Arpana Prasad y Amrit Ambirajan, «Criteria for accurate measurement of thermal diffusivity of solids using the Angstrom method», *Dep. Space Govt India ISRO Satell. Cent. India*, vol. 134, pp. 216-223, nov. 2018.
- [37] A. V. T. Carrillo y J. A. Freyre, «Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería.», *Ens. Mater. Constr. Proced.*, vol. 1, p. 2, 2017.
- [38] Jaime Hoz, Luis Maldonado, y Fernando Vela, *Diccionario de construcción tradicional de tierra.*, 2 vols. España: Nerea, 2003.

- [39] Y. Millogo, M. Hajjaji, y R. Ouedraogo, «Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks», *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, n.º 12, pp. 2386-2392, dic. 2008.
- [40] Dirección general de vivienda, Ministerio de desarrollo económico, Viceministerio de desarrollo urbano y vivienda. Bolivia, «Manual de autoconstrucción de unidades habitacionales con adobe.» 2012.
- [41] Célia Neves, Obede Borges Faria, Rodolfo Rotondaro, y Ana Paula Milani, «Técnicas de Construcción con tierra», Red Iberoamericana PROTERRA, Brasil, Manual 1, 2011.
- [42] F. J. C. Pascual, «Estabilización de morteros de barro para la protección de muros de tierra», Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2004.
- [43] Ing. Roberto Morales Morales, Dr. Rafael Torres Cabrejos, Ing. Luis A. Rengifo, y Ing. Carlos Irala Candiotti, «Manual para la construcción de viviendas en Adobe», CISMID UNI, Lima, Manual 2 ed., mar. 1995.
- [44] «Norma UNE.41410. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo-España. AENOR.2008». .
- [45] Tschebotarioff, Gregory. P, *Mecánica Del Suelo: Cimientos y Estructuras de Tierra.*, 3era ed. Madrid: Aguilar, 1972.
- [46] K. T. Arteaga Medina y Ó. H. Medina, «Bloque de tierra comprimida como material constructivo.», *Rev. Fac. Ing.-UPTC*, vol. 20, n.º 31, p. 15, 2011.
- [47] J. Salas, M. J. Guinea, y J. D. Bernal, «Analysis of results of tests carried out on earth test pieces», *Mater. Constr.*, vol. 38, n.º 210, pp. 25-38, jun. 1988.
- [48] Departament of Scientific and Industrial Research Road Research Laboratory: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas., *Mecánica del suelo para ingenieros de carreteras y aeropuertos.*, 1era ed. Madrid: Librería Miguel Blázquez, 1963.
- [49] Elisabetta Carnevale, Bakonirina Rakotomamonjy, Enrique Sevillano Gutiérrez, y María de Lourdes Abad Rodas, «Orientaciones para la conservación de inmuebles patrimoniales de tierra en Cuenca.», CRATerre, Cuenca, Ecuador, Manual 1, 2015.
- [50] Carazas Aedo, Wilfredo y Rivero Olmos, Alba, «Bahareque: Guía de construcción parasísmica», CRATerre-EAG, Salvador, Guía de construcción 1, 2003.
- [51] Diego de la Peña Estrada, «Adobe, características y sus principales usos en la construcción», Tesis de Grado, CMIC, ITC, México, 1997.
- [52] Ministerio de Transportes y comunicaciones, *Manual Ensayo de Materiales*, 1era ed., vol. I, I vols. Perú, 2016.
- [53] ASTM International, «ASTM D2216. Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass», p. 7, jul. 2010.
- [54] Laboratorio de mecánica de suelos- UNI, «Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo», vol. 1, p. 6, 2006.
- [55] Eulalio Juárez Badillo y Rico Rodríguez, *Mecánica de Suelos Tomo I - Fundamentos de mecánica de suelos*, 2da ed., vol. 1, 3 vols. México: Limusa S.A, 2005.
- [56] ASTM International, «ASTM D1241 : Standard Specification for Materials for Soil-Aggregate Sub-base, Base, and Surface Courses», p. 3, nov. 2015.
- [57] Laboratorio de mecánica de suelos- UNI, «Método de ensayo para determinar el límite líquido.», vol. 1, n.º 1, p. 6, 2006.
- [58] Casagrande, A., «Research on the Atterberg limits of soil.», *Public Roads*, vol. 13, pp. 121-130, 1932.

- [59] Ministerio de transportes y comunicaciones, «MTC E 110-2000. Determinación del límite líquido de los suelos.», *Man. Ens. Mater. EM 2000*, p. 10, 2006.
- [60] Laboratorio de mecánica de suelos- UNI, «Método de ensayo para determinar el límite plástico e índice de plasticidad.», vol. 1, n.º 1, p. 3, 2006.
- [61] Ministerio de transportes y comunicaciones, «MTC E 111-2000. Determinación del límite plástico e índice de plasticidad.», *Man. Ens. Mater. EM 2000*, p. 3, 2006.
- [62] Joseph E. Bowles, *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*, 2da ed., vol. I, I vols. México: Mc Graw - Hill, 1981.
- [63] Ministerio de transportes y comunicaciones, «MTC E 107-2000. Análisis granulométrico de suelos por tamizado», *Man. Ens. Mater. EM 2000*, p. 6, 2006.
- [64] Laboratorio de mecánica de suelos- UNI, «Análisis granulométrico de suelos por tamizado», vol. 1, n.º 1, p. 5, 2006.
- [65] HAZEN, A., «Some physical properties of sands and gravels, with special reference to their use in filtration.», *Mass. State Board Health*, vol. 24th Annual Rep., n.º 34, pp. 539–556, 1892.
- [66] Manual de ensayo de materiales (EM 2000), «MTC E 109-2000. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro», *Man. Ens. Mater. EM 2000*, p. 23, 2006.
- [67] Laboratorio de mecánica de suelos- UNI, «Análisis granulométrico por medio del Hidrómetro.», vol. 1, n.º 1, p. 9, 2006.
- [68] AASHTO international, «AASHTO T88 -10: Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils», *Am. Assoc. State Highw. Transp. Off. AASHTO*, p. 21, ene. 2017.
- [69] ASTM International, «ASTM D 152-H. Hydrometer Soil.», p. 2, 2010.
- [70] Casagrande, A., «Classification and identification of soils.», *Am. Soc. Civ. Eng. Trans.*, vol. 113, pp. 901-991.
- [71] AASHTO international, «AASHTO M145-91. Standard Specifications for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.», *Am. Assoc. State Highw. Transp. Off. AASHTO*, p. 10, ene. 1991.
- [72] Eulalio Juárez Badillo, «Anexo VII-a. Sistema SUCS», vol. 1, p. 2, 2005.
- [73] Robert D. Holtz y William D. Kovacs, *Introduction to Geotechnical Engineering*, 2nd edition. United States of America: Prentice-Hall, Inc. A Paramount Communications Company, 2010.
- [74] ASTM International, «ASTM D3282 : Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes», p. 6, nov. 2015.
- [75] William D. Callister, *Introducción a la ciencia e Ingeniería de los materiales*. España: REVERTE, 1995.
- [76] Vega Pérez Gracia, «Radar de subsuelo, Evaluación para aplicaciones en arqueología y en patrimonios histórico-artístico. Volumen 3. Anexo 1», Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, Cataluña, 2001.
- [77] Bermúdez Polonio, J., *Métodos de difracción de rayos X : principios y aplicaciones*, 2da ed. Madrid: Pirámide S.A, 1981.
- [78] Joseph E. Bowles, «Experimento N.3. Límites líquido y plástico de un suelo.», vol. 1, n.º 1, p. 13, 1981.
- [79] Joseph E. Bowles, «Experimento N.9. Relaciones Humedad-Densidad», vol. 1, n.º 1, p. 10, 1981.
- [80] Ministerio de transportes y comunicaciones, «MTC E 115-2000. Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado)», *Man. Ens. Mater. EM 2000*, p. 23, 2000.

- [81] INACAL, «NTP 339.177 2002. SUELOS. Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos y agua subterránea.» Fondo editorial INACAL, 26-nov-2015.
- [82] INACAL, «NTP 339.178 2002. SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea.» Fondo editorial INACAL, 26-nov-2015.
- [83] INACAL, «NTP 339.152 2002-SUELOS. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y agua subterránea.» Tienda virtual INACAL., 2015.
- [84] Mariana P. Gatani, «Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible», *Inf. Constr.*, vol. 51, n.º 466, pp. 35-47, abr. 2000.
- [85] AENOR, «AENOR: Norma UNE 103103:1994. Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.», <http://www.aenor.es/>, 1994.
- [86] AENOR, «AENOR: Norma UNE 103104:1993. Determinación del límite plástico de un suelo.», <http://www.aenor.es/>, 1993.
- [87] Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento y SENCICO, «Norma técnica E.070 Albañilería». 2006.
- [88] A. V. T. Carrillo y J. A. Freyre, «Determinación del Módulo de Rotura (Ensayo de Flexión) (NTP 339.613)», *Ens. Mater. Constr. Proced.*, vol. I, p. 2, 2017.
- [89] A. V. T. Carrillo y J. A. Freyre, «Determinación de la Resistencia a la Compresión en prismas de albañilería (NTP 339.605 ; E-070).», *Ens. Mater. Constr. Proced.*, vol. I, p. 3, 2017.
- [90] M. P. Gómez Tena, «Determination of thermal conductivity in the ceramic industry by the modified transient plane source technique.», *Téc. Lab.*, vol. 397, pp. 728-734, dic. 2014.
- [91] C-Therm Technologies Ltd., «Technology - C-Therm - Thermal Conductivity Instruments», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://ctherm.com/technology/>.
- [92] C-Therm Technologies Ltd., «Polymers - C-Therm - Thermal Conductivity Instruments». [En línea]. Disponible en: <https://ctherm.com/applications/polymers/>.
- [93] ASTM International, «ASTM D7984 - 16: Standard Test Method for Measurement of Thermal Effusivity of Fabrics Using a Modified Transient Plane Source (MTPS) Instrument», ASTM International, 2016.
- [94] C- Therm Technologies Ltd., «The Science - C-Therm - Thermal Conductivity Instruments». [En línea]. Disponible en: https://ctherm.com/technology/the_science/.
- [95] Merrow Scientific, «Thermal Conductivity Analysers», *Merrow Scientific*. [En línea]. Disponible en: <https://merrowscientific.com/thermal-conductivity-analysis/>.
- [96] N. Mathis y C. Chandler, «Orientation and Position Dependant Thermal Conductivity», p. 5, 2000.
- [97] C-Therm Technologies Ltd., «C-Therm- TCi. Brochure», 2017.
- [98] Ministerio de transportes y comunicaciones, «MTC E 108-2000. Determinación del contenido de humedad de un suelo», *Man. Ens. Mater. EM 2000*, p. 8, 2006.
- [99] ASTM International, «ASTM D4318 : Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils», p. 20, 2017.
- [100] Eulalio Juárez Badillo, «Anexo V-b. Procedimiento de prueba para el análisis por medio del hidrómetro.», vol. 1, p. 5, 2005.
- [101] BRUKER, «Diffrac. Suite Eva Overview - XRD Software, X-ray diffraction», *Bruker.com*. [En línea]. Disponible en: <https://www.bruker.com/products/x-ray-diffraction-and-elemental-analysis/x-ray-diffraction/xrd-software/eva/overview.html>.

- [102] Departamento de Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, «Análisis mineralógico mediante Difracción de Rayos X», vol. 1, n.º 1, p. 12, ene. 1994.
- [103] AASHTO international, «AASHTO T 180 : Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) Drop», *Am. Assoc. State Highw. Transp. Off. AASHTO*, p. 14, ene. 2017.
- [104] Laboratorio de mecánica de suelos- UNI, «Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³ [2 700 kN-m/m³]) (Proctor Modificado)», vol. 1, n.º 1, p. 13, 2006.
- [105] AASHTO international, «AASHTO T 291: Water Soluble Chloride Content in Soil (Method B extraction, analysis by ion specific electrode)», *Am. Assoc. State Highw. Transp. Off. AASHTO*, p. 12, ene. 1994.
- [106] AASHTO international, «AASHTO T 290: Standard method of test for determining water-soluble sulfate ion content in soil.», *Am. Assoc. State Highw. Transp. Off. AASHTO*, p. 10, ene. 1995.
- [107] Ministerio de transportes y comunicaciones, «MTC E 219-2016. Determinación de Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles.», *Man. Ens. Mater. EM 2000*, p. 3, 2016.
- [108] ASTM International, «ASTM D1888 : Standard test methods for particulate and dissolved matter, solids, or residue in water.», p. 8, feb. 1989.
- [109] C-Therm Technologies Ltd., «Capabilities - C-Therm - Thermal Conductivity Instruments». [En línea]. Disponible en: <https://ctherm.com/technology/capabilities/>.
- [110] Ministerio de Transportes y comunicaciones, Viceministerio de transportes, y Dirección general de Caminos y ferrocarriles, *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico*, 2da ed., vol. I, I vols. Perú, 2014.
- [111] L. C. R. CAMARGO, «Efecto de la salinidad en suelos arcillosos en tuberías de acero grado B de alta temperatura», Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2007.
- [112] Ávila J y Genescá J, *Más Allá de la Herrumbre II. La Lucha Contra la Corrosión.*, 2a ed., vol. II, II vols. México: Fondo de Cultura Económica, 1998.
- [113] Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la propiedad Intelectual INDECOPI, Comisión de reglamentos técnicos y comerciales, «Normas técnicas ITINTEC 331.017. Elementos de Arcilla cocida. Ladrillos de arcilla usados en Albañilería. Requisitos.» 1978.
- [114] G. Cuitiño, A. Esteves, G. Maldonado, y R. Rotondaro, «Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha», *Inf. Constr.*, vol. 67, n.º 537, p. 063, 2015.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Cálculo de la difusividad térmica para una barra cilíndrica de tierra compactada.

La ecuación de transferencia de calor, que incluye las pérdidas por radiación con el término hT está dada por,

$$\alpha \nabla T - hT = \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (1)$$

Las muestras analizadas fueron de geometría cilíndrica con una relación longitud/diámetro de 2,5. Aislado la muestra lateralmente, se crean las condiciones para un flujo de calor predominante en la dirección longitudinal.

$$\alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - hT = \frac{\partial T}{\partial t}. \quad (2)$$

El método de Angström consiste en aplicar una fuente de calor periódica en uno de los extremos de la muestra, de modo que la temperatura a lo largo de la muestra, puede expresarse como una serie de Fourier,

$$T(x, t) = \sum C_n(x) \cos \omega t + D_n(x) \sin \omega t. \quad (3)$$

Reemplazando (3) en (2),

$$\sum \alpha \frac{\partial^2 C_n}{\partial x^2} \cos \omega t + \alpha \frac{\partial^2 C_n}{\partial x^2} \sin \omega t - hC_n \cos \omega t - hD_n \sin \omega t = \sum -n\omega C_n \sin \omega t + n\omega D_n \cos \omega t \quad \dots\dots\dots(4)$$

Igualando los términos que multiplican por $\sin \omega t$ y $\cos \omega t$, obtenemos el sistema de ecuaciones,

$$\alpha \frac{\partial^2 C_n}{\partial x^2} - hC_n = n\omega D_n, \quad (5)$$

$$\alpha \frac{\partial^2 D_n}{\partial x^2} - hD_n = -n\omega C_n. \quad (6)$$

Derivando dos veces (5),

$$\alpha \frac{\partial^4 C_n}{\partial x^4} - h \frac{\partial^2 C_n}{\partial x^2} = n\omega \frac{\partial^2 D_n}{\partial x^2} \quad (7)$$

Combinando con (6),

$$\alpha \frac{\partial^4 C_n}{\partial x^4} - h \frac{\partial^2 C_n}{\partial x^2} = \frac{n\omega}{\alpha} (hD_n - n\omega C_n), \quad (8)$$

$$\alpha \frac{\partial^4 C_n}{\partial x^4} - h \frac{\partial^2 C_n}{\partial x^2} + \frac{n^2 \omega^2}{\alpha} C_n - \frac{n\omega h}{\alpha} D_n = 0, \quad (9)$$

Combinando con (5),

$$\alpha \frac{\partial^4 C_n}{\partial x^4} - h \frac{\partial^2 C_n}{\partial x^2} + \frac{n^2 \omega^2}{\alpha} C_n - \frac{n \omega h}{\alpha n \omega} \left(\alpha \frac{\partial^2 C_n}{\partial x^2} - h C_n \right) = 0, \quad (10)$$

$$\alpha \frac{\partial^4 C_n}{\partial x^4} - 2h \frac{\partial^2 C_n}{\partial x^2} + \left(\frac{n^2 \omega^2}{\alpha} + \frac{h^2}{\alpha} \right) C_n = 0, \quad (11)$$

Mediante operaciones similares se encuentra la misma ecuación para D_n ,

$$\alpha \frac{\partial^4 D_n}{\partial x^4} - 2h \frac{\partial^2 D_n}{\partial x^2} + \left(\frac{n^2 \omega^2}{\alpha} + \frac{h^2}{\alpha} \right) D_n = 0, \quad (12)$$

La ecuación diferencial (12) es de segunda orden, homogénea y de coeficientes constantes. Su ecuación característica es,

$$\alpha \lambda^4 - 2h \lambda^2 + \left(\frac{n^2 \omega^2}{\alpha} + \frac{h^2}{\alpha} \right) = 0, \quad (13)$$

Con las soluciones para λ^2 ,

$$\Delta' = \frac{2h \pm \sqrt{4h^2 - 4(n^2 \omega^2 + h^2)}}{2\alpha}, \quad (14)$$

$$\Delta' = \frac{h}{\alpha} \pm i \frac{n\omega}{\alpha}. \quad (15)$$

Las soluciones para λ están dadas por,

$$\Delta = \pm \left(\frac{1}{2\alpha} \right)^{1/2} \left[\left(\sqrt{h^2 + n^2 \omega^2} + h \right)^{1/2} \pm i \left(\sqrt{h^2 + n^2 \omega^2} - h \right)^{1/2} \right], \quad (16)$$

$$\Delta = \pm [\delta_n \pm i \beta_n], \quad (17)$$

Donde,

$$\sigma_n = \left(\frac{1}{2\alpha} \right)^{1/2} \left(\sqrt{h^2 + n^2 \omega^2} + h \right)^{1/2}, \quad (18)$$

$$\beta_n = \left(\frac{1}{2\alpha} \right)^{1/2} \left(\sqrt{h^2 + n^2 \omega^2} - h \right)^{1/2}. \quad (19)$$

Las soluciones de la ecuación diferencial son,

$$C_n = \exp(\sigma_n x) [A_n \cos \beta_n x + B_n \sen \beta_n x] + \exp(-\sigma_n x) [A_n \cos \beta_n x + B_n \sen \beta_n x] \quad (20)$$

El primer término se descarta por que la solución de (3) debe converger cuando $x \rightarrow \infty$.

La solución C_n se puede escribir como,

$$C_n = A_n \exp(-\sigma_n x) \cos(\beta_n x - \varphi_n). \quad (21)$$

La solución para D_n se obtiene reemplazando (21) en (5). Se obtiene,

$$D_n = A_n \exp(-\sigma_n x) \sen(\beta_n x - \varphi_n). \quad (22)$$

Reemplazando (21) y (22) en (5),

$$T(x, t) = \sum A_n \exp(-\sigma_n x) \cos(\beta_n x - \varphi_n) \cos n\omega t + A_n \exp(\sigma_n x) \sin(\beta_n x - \varphi_n) \sin n\omega t, \quad (23)$$

$$T(x, t) = \sum A_n \exp(-\sigma_n x) \cos(\beta_n x - \varphi_n - n\omega t). \quad (24)$$

Desarrollando algunos términos de la serie,

$$T(x, t) = A_0 \cos(-\varphi_0) + A_1 \exp(-\sigma_1 x) \cos(\beta_1 x - \varphi_1 - \omega t) + \dots, \quad (25)$$

Para el extremo caliente,

$$T(0, t) = A_0 \cos(-\varphi_0) + A_1 \cos(-\varphi_1 - \omega t) + \dots \quad (26)$$

Si uno de los extremos de la muestra se calienta con una onda de calor senoidal de frecuencia ω ,

$$T(0, t) = M + N \cos(\omega t + \delta),$$

$$T(x, t) = M + N \exp(-\sigma_1 x) \cos(\beta_1 x - \delta - \omega t),$$

$$\sigma_1 = \left(\frac{1}{2\alpha}\right)^{1/2} (\sqrt{h^2 + \omega^2} + h)^{1/2},$$

$$\beta_1 = \left(\frac{1}{2\alpha}\right)^{1/2} (\sqrt{h^2 + \omega^2} - h)^{1/2},$$

ANEXO 2. Curvas de temperatura en función al tiempo para el cálculo de la Difusividad en Barras de adobe Compactado.

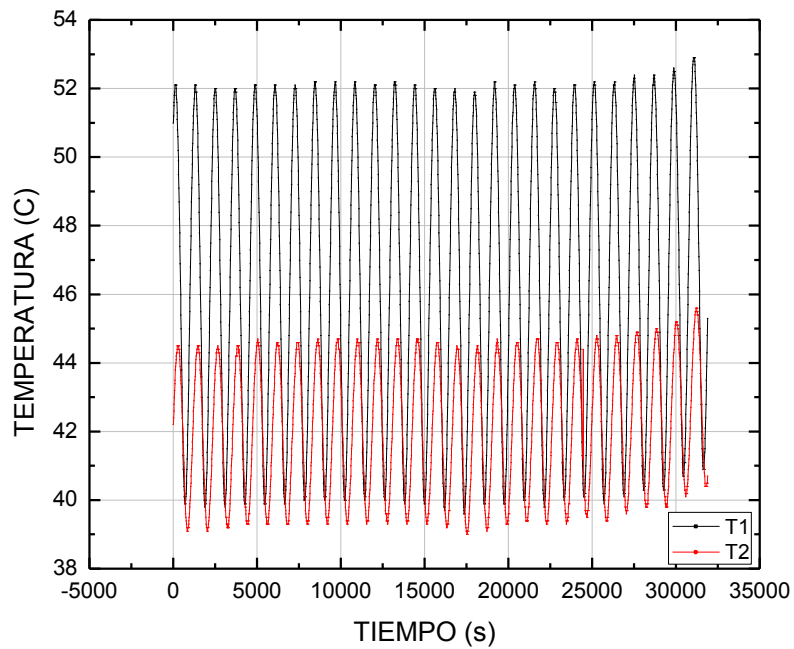


FIGURA 75. Curva de temperaturas vs tiempo para la barra de adobe 0MPa.

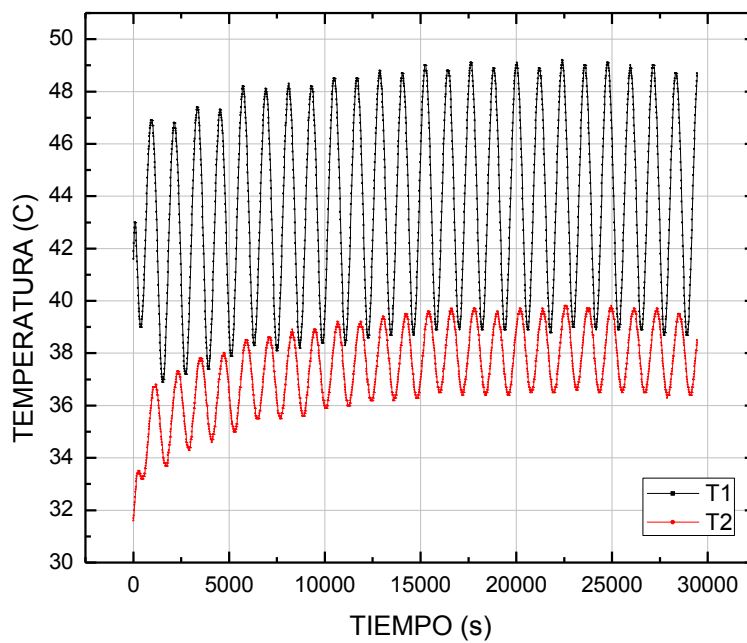


FIGURA 76. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 0.15 MPa.

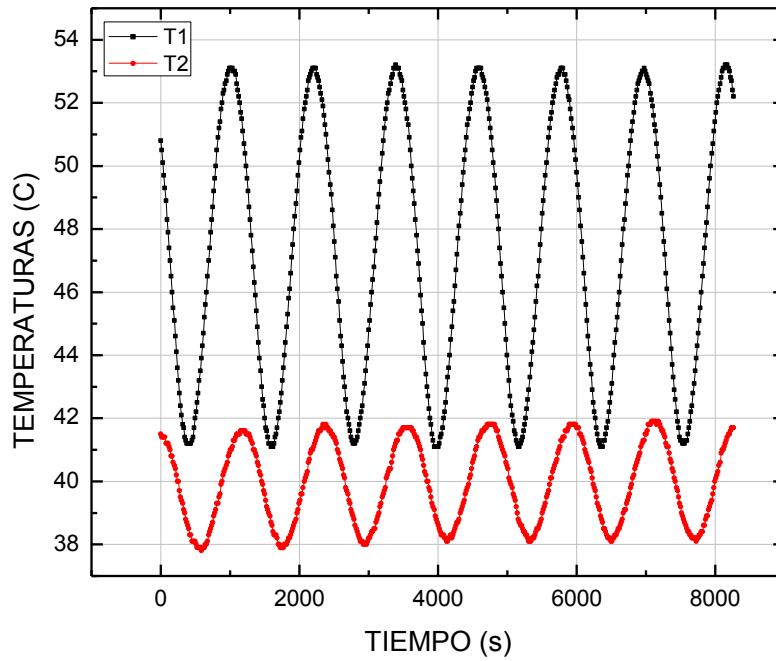


FIGURA 77. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 0.46 MPa.

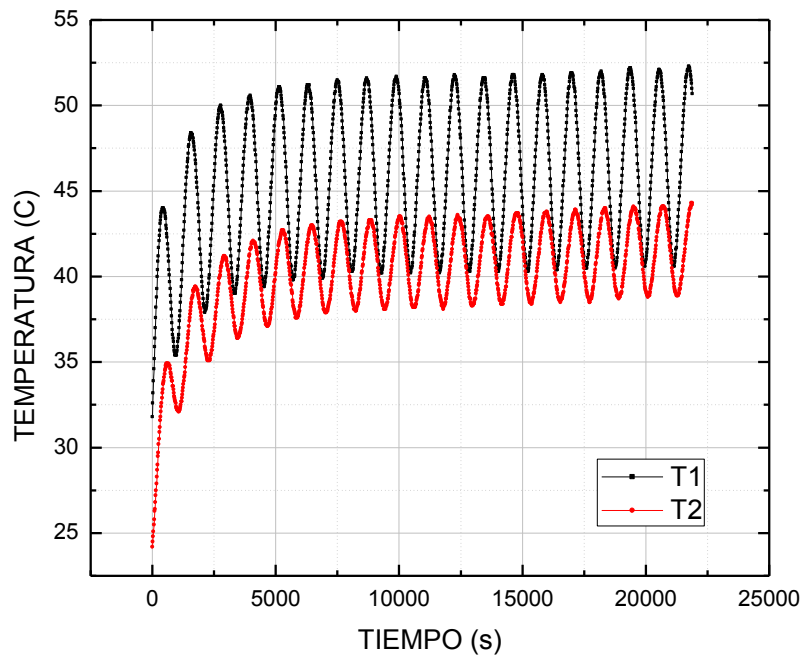


FIGURA 78. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 0.62 MPa.

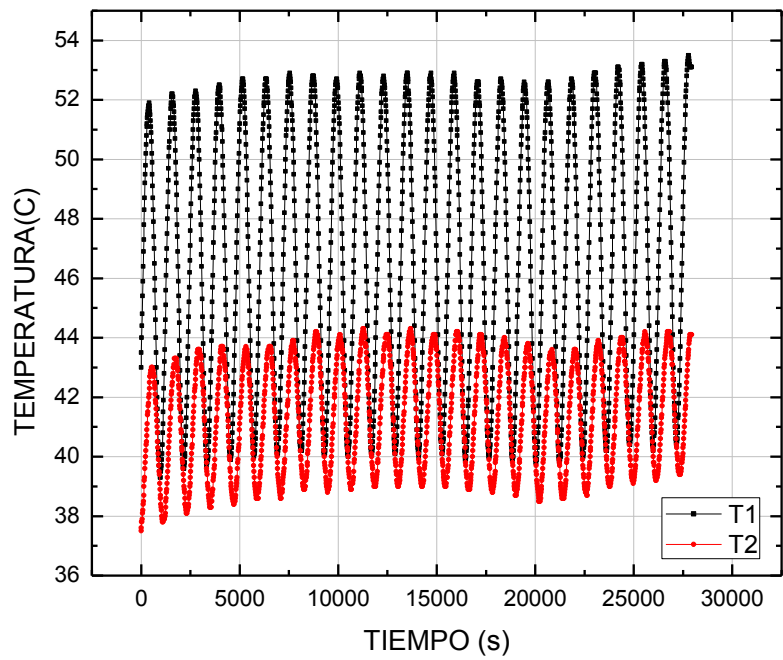


FIGURA 79. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 0.93 MPa.

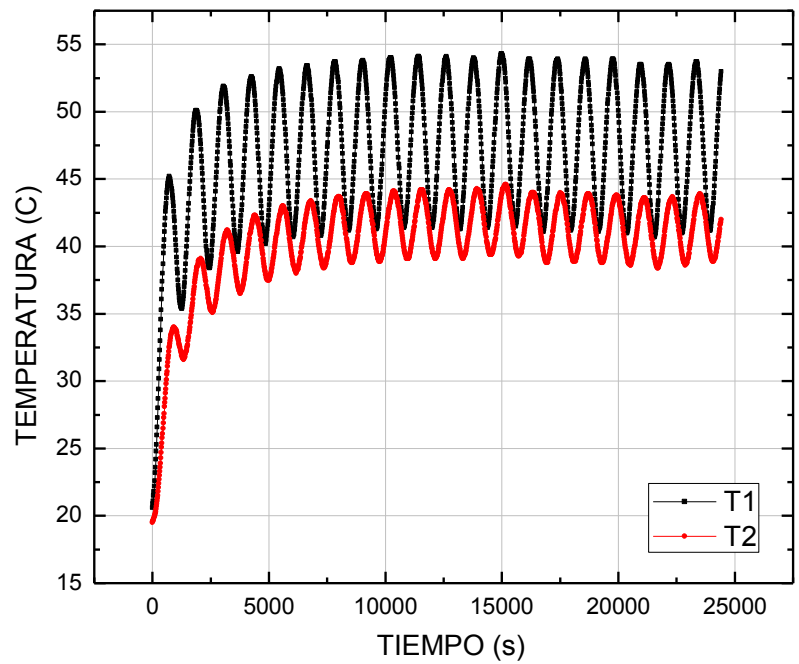


FIGURA 80. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 1.24 MPa.

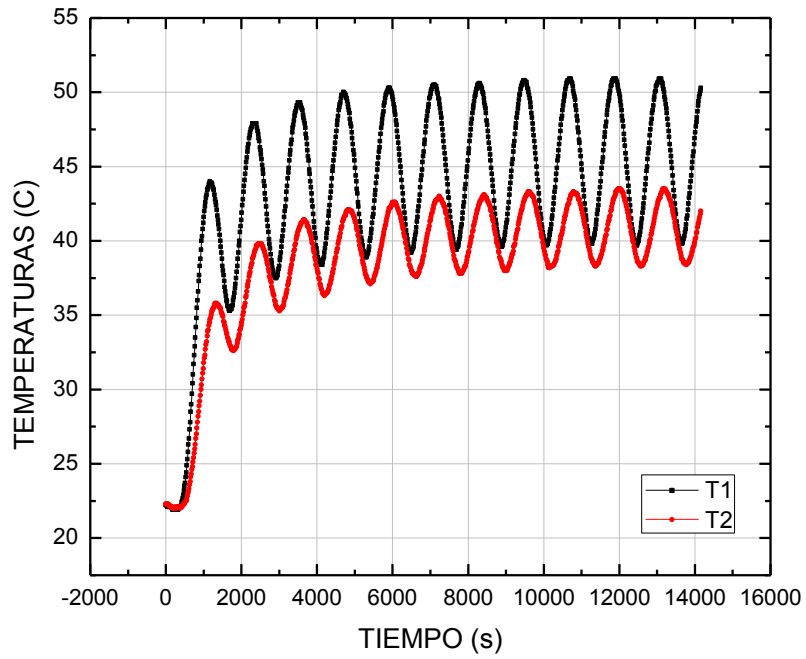


FIGURA 81. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 1.86 MPa.

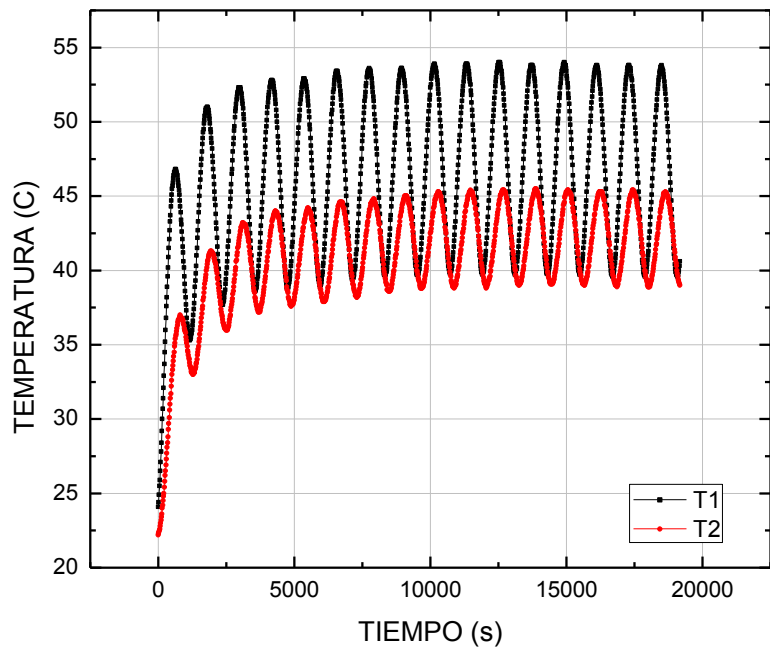


FIGURA 82. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 2.16 MPa.

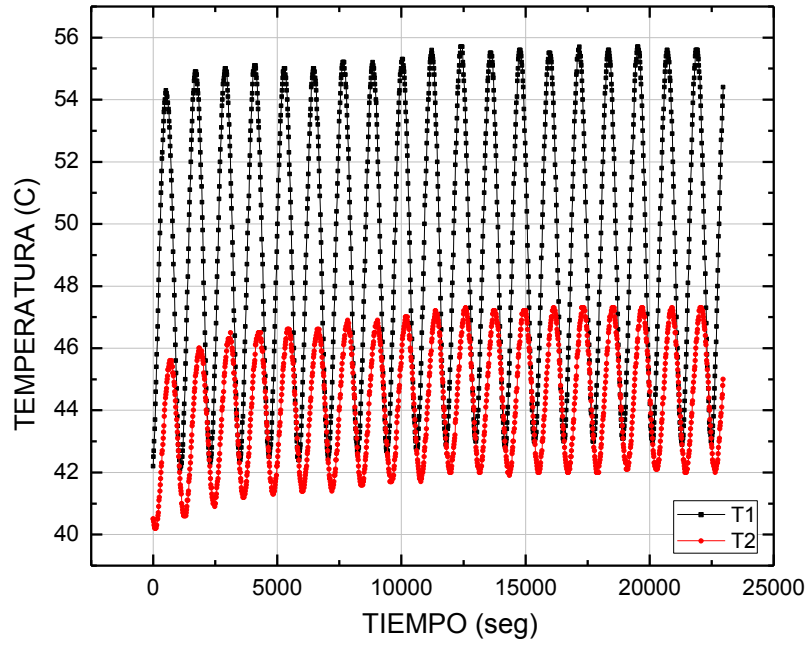


FIGURA 83. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 2.48 MPa.

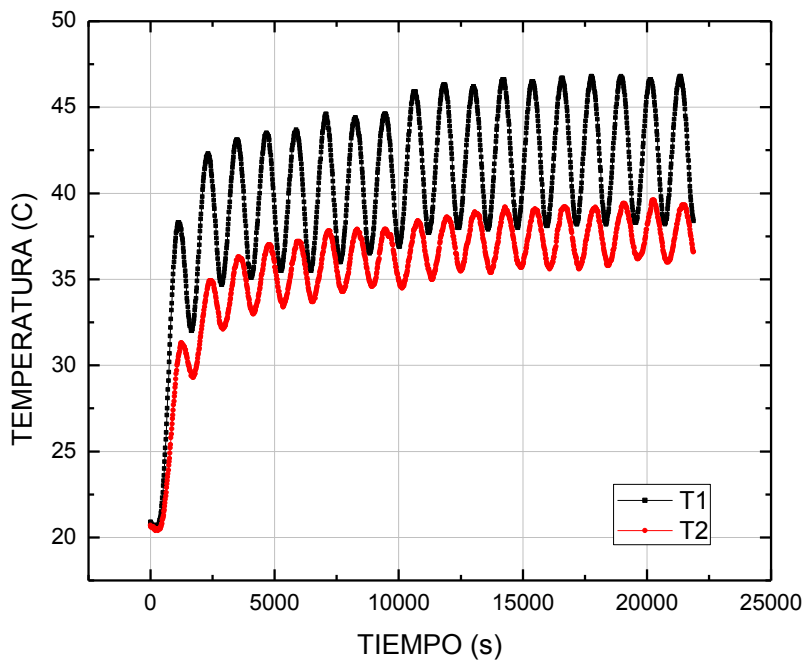


FIGURA 84. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 2.78 MPa.

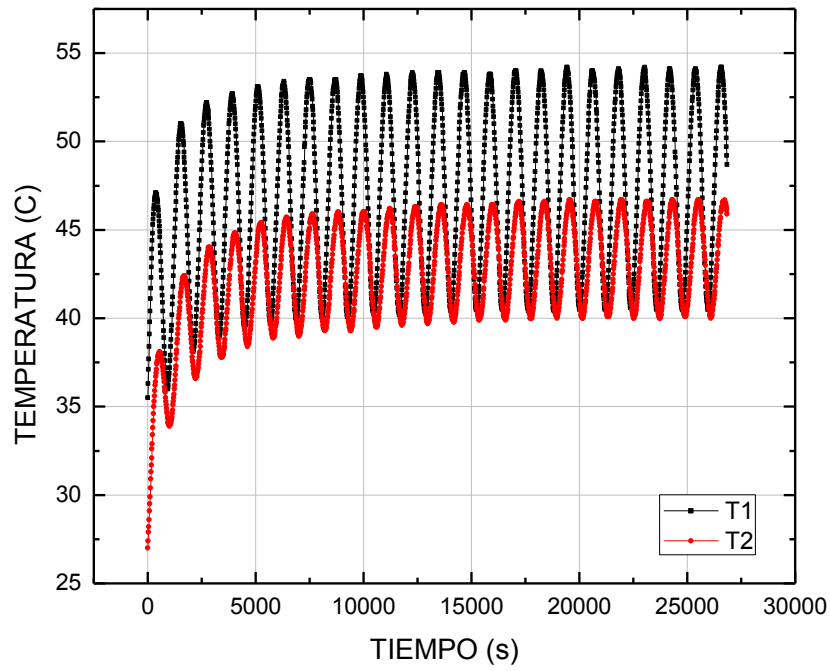


FIGURA 85. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 3.40 MPa.

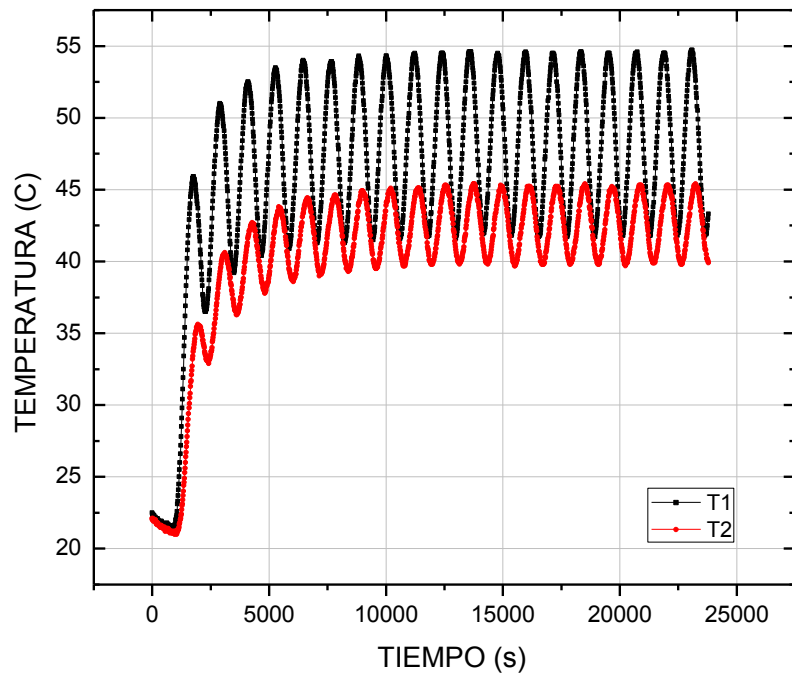


FIGURA 86. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 3.72 MPa.

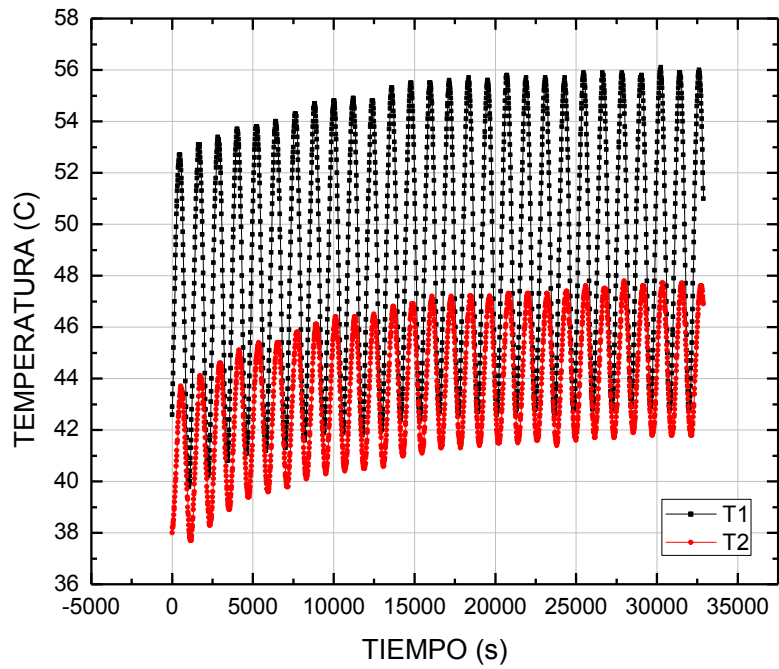


FIGURA 87. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 4.02 MPa.

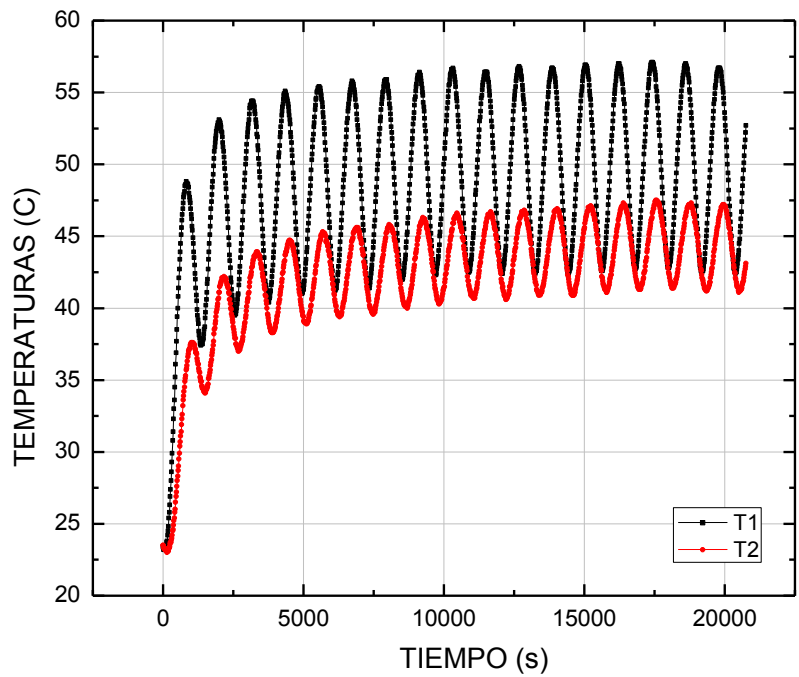


FIGURA 88. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 4.18 MPa.

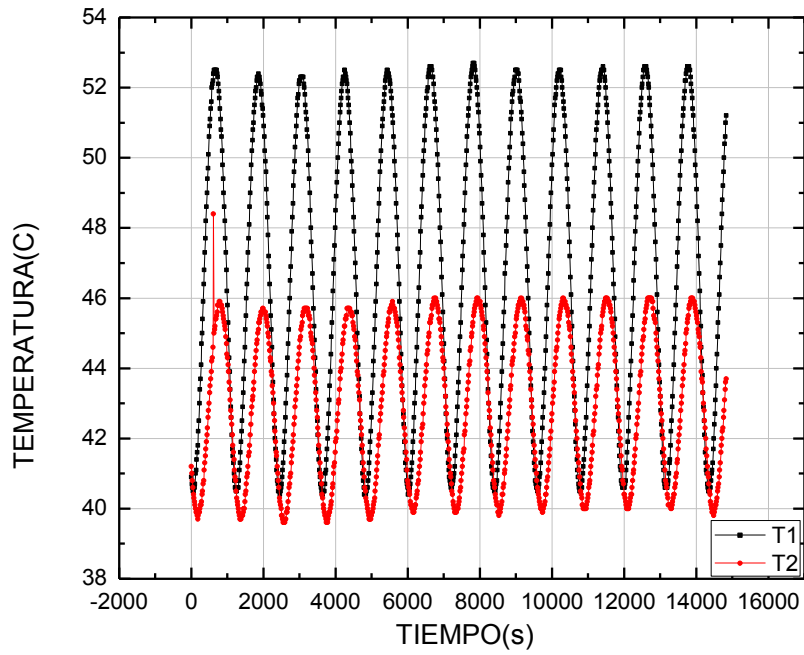


FIGURA 89. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 4.33 MPa.

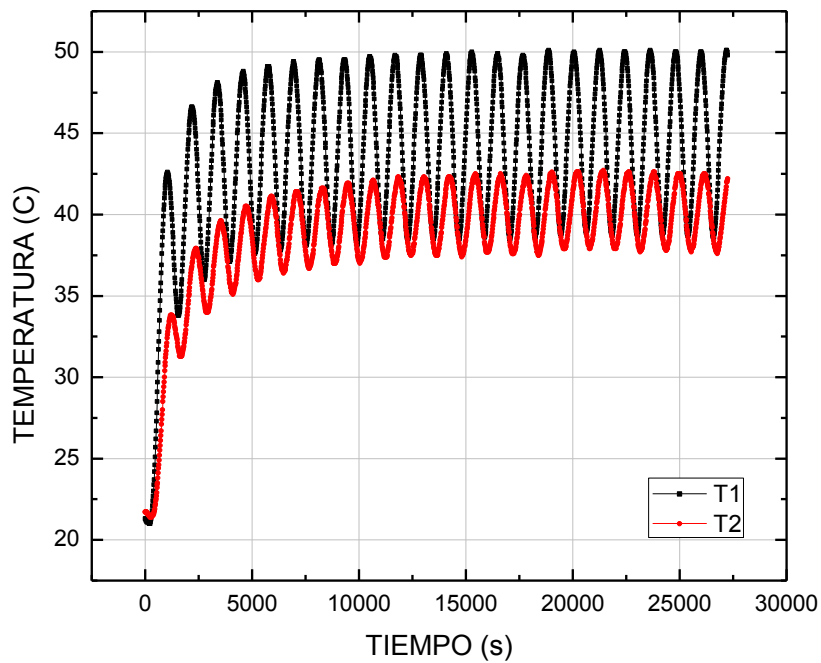


FIGURA 90. Curva de temperatura vs Tiempo para la barra de adobe compactado a 4.63 MPa.

ANEXO 3. CLASIFICACIÓN AASHTO

El sistema de clasificación consiste en siete grupos mayores que van desde el grupo A-1 hasta el A-7 y ocho subgrupos que son el A-1-a; A-1-b; A-2-4; A-2-5; A-2-6; A-2-7; A-7-5 y el A-7-6 y que inicialmente definen a materiales granulares de los materiales finos, de acuerdo al porcentaje de material pasante al tamiz N° 200. Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2, A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la criba N° 200, los suelos en los que más del 35% pasan por la criba N° 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6, A-7, en su mayoría formados por materiales tipo limo y arcilla. Este sistema de clasificación se basa en tres criterios básicos:

Tamaño de grano

- Grava: fracción pasante de la malla 75mm y retenida en la malla N°10(2mm) U.S.
- Arena: Fracción que pasa la malla N°10 (2mm) U.S y es retenida en la malla N° 200 (0.075mm) U.S
- Limo y arcilla: Fracción que pasa la malla N° 200 U.S

Plasticidad: el término *limoso* se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos. Mientras que el término *Arcilloso* se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.

Cantos rodados y boleos (tamaños mayores a 75mm), si están presentes, estos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando, sin embargo el porcentaje de tal material se registra.

El sistema también describe la calidad ingenieril del suelo, usando para ello el índice de grupo que es un coeficiente que resulta de reemplazar los valores o resultados obtenidos en los límites de consistencia y de la granulometría.

Índice de grupo, es un coeficiente que junto con los grupos y subgrupos describe la calidad de un suelo. Para hallar el valor del índice de grupo se halla con la siguiente fórmula:

$$IG = 0.2(a) + 0.005 (a * c) + 0.01 (b * d) \quad (7)$$

Donde:

$a = \% \text{ de finos entre } (35 \text{ a } 75\%) \text{ entre } (0 - 40)$

$b = \% \text{ de finos entre } (15 \text{ a } 55\%) \text{ entre } (0 - 40)$

$c = \% \text{ de LL entre } (40 \text{ a } 60\%) \text{ entre } (0 - 20)$

$d = \% \text{ de IP entre } (10 \text{ a } 30\%) \text{ entre } (0 - 20)$

La clasificación AASHTO indica la Calidad ingenieril, de un tipo de suelo, y esta se define por el índice de grupo (IG) calificándolo desde un suelo excelente hasta un suelo muy malo, esta cualidad es otorgada si el suelo va ser usado como material de subrasante.

Siendo los índices de grupo los siguientes:

Excelente: IG = 0

Bueno : IG = 0 – 1

Regular : IG = 2 – 4

Malo : IG = 5 – 9

Muy malo: IG = 10 – 20

La clasificación AASHTO hace uso de tablas, en la cual el método práctico sería un descarte secuencial y ordenado para ver de acuerdo a los parámetros establecidos por el sistema, a qué tipo de suelo se ajusta según la descripción exigida.

MÉTODO PARA LA CLASIFICACIÓN AASHTO, el método de clasificación propuesto por este sistema, esta descrito en la prueba D-3282 de la ASTM [74] y método AASHTO M145[71] .

- Se empieza verificando los porcentajes retenidos y pasantes vistos en la tabla de distribución granulométrica obtenida en ensayos previos, y de acuerdo a ello, el suelo se puede clasificarse en alguno de los siete grupos mayores: que van desde el A-1 al A-7.
- En este caso el primer filtro es verificar si el 35% o menos pasa el tamiz N° 200 ($\leq 35\%$ son materiales granulares y su clasificación va desde los grupos A-1, A-2, A-3; Si $> 35\%$ pertenecen a los grupos A-4, A-5, A-6, A-7, considerados agregados finos). Como se dijo anteriormente se consideran los tres criterios básicos; tamaños de grano, plasticidad y boleos.
- La clasificación del suelo se realiza ingresando los datos de prueba en la tabla de clasificación propuesta por AASHTO, se procede a verificar si el dato ingresado se encuentra dentro del límite (este define el grupo). Finalmente para determinar la calidad del suelo se halla el valor del índice de grupo empleando la ecuación N°7.

CLASIFICACION AASHTO PARA LAS TRES MUESTRAS DE SUELO:

Proceso de clasificación AASHTO

El primer filtro para clasificar por este sistema es verificar según las tablas granulométricas si el material en 35% ó más pasan por la criba N⁰ 200, según esto se clasifica en la Tabla del sistema AASHTO[71], en los grupos A-1 hasta el A-7 y después de izquierda a derecha en dicha tabla, según los porcentajes pasantes por los tamices N⁰ 10, N⁰ 40 y N⁰ 200, y de acuerdo a los límites de consistencia de la muestra, se revisan en la tabla AASHTO y se van descartando los subgrupos posibles al que pueda pertenecer la muestra de suelo, hasta que los datos de prueba ajusten en algún subgrupo, entonces ahí se define a que grupo pertenece el tipo de suelo en estudio, para ver la calidad del suelo se determinó por el índice de grupo, el cual califica a un suelo desde excelente hasta muy malo.

A continuación se presentan la Clasificación AASHTO para las 3 muestras de suelo:

TABLA 78. Proceso de Clasificación AASHTO Muestra 1- Chorrillos.

Muestra 1-Chorrillos – AASHTO		A-1		A-3	A-2			
N ⁰ tamiz	% Pasa	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
N ⁰ 10	93.12	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO
N ⁰ 40	63.03							
N⁰200	28.31							
LL	23.04							
IP	5.89							
Hallando el valor del IG		$IG = 0.2(a) + 0.005(a * c) + 0.01(b * d)$ IG=(0)						
Materiales granulares: Grava, arena, arenas finas o cualquiera de estas con contenido de finos.		Se considera granular: Debido a que el 35% o menos pasan la malla N⁰ 200						
Por su granulometría		Por el % pasante de N ⁰ 200 : Grupo A-2						
Por sus límites (LL, IP)		Subgrupo 4						
Por el IG. IG (0) →”excelente”		(0) “excelente como uso en subrasante”						
Clasificación AASHTO		A-2-4(0)						
Tipo usual de los materiales componente importantes		Materiales Granulares: Arenas finas.						
Clasificación general como subrasante		“De excelente a Buena”						

TABLA 79. Proceso de Clasificación AAHSTO Muestra 2- Huachipa.

Muestra 2- Huachipa- AASHTO		A-4	A-5	A-6	A-7	
Nº tamiz	% Pasa				A-7-5	A-7-6
Nº10	95.95	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO
Nº40	96.03					
Nº200	67.70					
LL	33.61					
IP	12.57					
Hallando el valor del IG		$IG = 0.2(a) + 0.005(a * c) + 0.01(b * d)$ IG=(7)				
Materiales limo arcillosos: Limos y arcillas.		Es considerado material limo-arcilloso: Debido a que pasan más del 35% a través de la malla Nº 200				
Por su granulometría		Puede pertenecer desde el Grupo A-4 hasta el Grupo A-7				
Por sus límites (LL, IP)		Especifica al Grupo A-6				
Por el índice de grupo IG IG (5-9) → "malo"		(7) "Malo como uso en subrasante"				
Clasificación AASHTO		A-6(7)				
Tipos usuales de los materiales componente importantes		Suelo de tipo limo arcilloso: suelos arcillosos				
Clasificación general como subrasante		"De Regular a mala"				

TABLA 80. Proceso de Clasificación AAHSTO Muestra 3- Manchay.

Muestra 3- Manchay- AASHTO		A-1		A-3	A-2			
Nº tamiz	% Pasa	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Nº10	93.98	FALSO	FALSO	FALSO	VERDADERO	FALSO	FALSO	FALSO
Nº40	73.08							
Nº200	27.94							
LL	29.51							
IP	9.34							
Hallando el valor del IG		$IG = 0.2(a) + 0.005(a * c) + 0.01(b * d)$ IG=(0)						
Materiales granulares: Grava, arena, arenas finas o cualquiera de estas con contenido de finos.		Se considera granular: Debido a que el 35% o menos pasan la malla Nº 200						
Por su granulometría		Puede pertenecer desde el Grupo A-2-4 hasta el Grupo A-2-7						
Por sus límites (LL, IP)		Especifica al grupo A-2-4						
Por el índice de grupo IG (0) → "excelente"		(0) "excelente como uso en subrasante"						
Clasificación AASHTO		A-2-4(0)						
Tipos usuales de los materiales componente importantes		Materiales granulares: Arenas fina , con contenido de finos						
Clasificación general como subrasante		"De excelente a Buena"						

Difusividad térmica en materiales complejos



Isabel Chino¹, Lucas Venturo¹, Abel Gutarra¹
¹ Laboratorio de Materiales Nano estructurados, UNI, Lima, Perú

Materiales complejos

Un material complejo, es variado en su composición y estructura. Es difícil modelarlo debido a que carece de periodicidad espacial y está compuesto de varias fases con propiedades termofísicas diferentes. La tierra usada para fabricar adobes y la madera, son ejemplos de este tipo de materiales. A pesar de ello es posible medir su difusividad térmica en diferentes condiciones de uso.

Adobe

El adobe es un bloque rectangular hecho de tierra húmeda, secada al ambiente. La tierra está compuesta de arcillas (aluminosilicatos), arena, limo y adiciones de fibras vegetales. En una reciente investigación hemos demostrado el notable incremento de la resistencia mecánica del adobe cuando, se fabrica comprimiendo la tierra en molde. Si podemos modificar la difusividad del adobe podemos controlar el desfase térmico entre la parte externa e interna de la pared de adobe de una vivienda.



Madera

La madera está formada por fibras de celulosa, en una matriz compuesta de lignina, hemicelulosa, y agua. Tiene una marcada anisotropía longitudinal, radial y tangencial



https://www.dailymail.co.uk/41816/woodprint.html

Difusividad térmica por el método de Angström

La ecuación de balance de energía térmica de un material es,

$$\alpha \nabla T - hT = \frac{\partial T}{\partial t}, \text{ donde } \alpha \text{ es la difusividad; } h \text{ coeficiente de radiación, y } T \text{ la temperatura.}$$

El método de Angström consiste en imponer a una muestra cilíndrica de longitud L , las condiciones de contorno, $T(0, t) = M + N \cos(\omega t + \delta)$; $T(L, t) = T_{ambiente}$.

Si la longitud es mayor que su diámetro, el flujo de calor es longitudinal, con la solución,

$$T(x, t) = A + B \exp(-\alpha x) \cos(\beta x - \delta - \omega t)$$

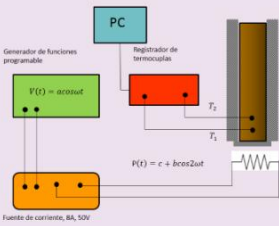
$$\alpha = \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{1/2} (\sqrt{h^2 + \omega^2} + h)^{1/2}, \quad \beta = \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{1/2} (\sqrt{h^2 + \omega^2} - h)^{1/2}$$

De estas ecuaciones obtenemos la difusividad:

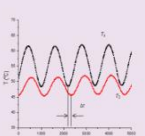
$$\alpha = \frac{e^2}{2\Delta t} \left[\frac{1}{Ln(B_1/B_2)} \right]$$

Diseño experimental

Componentes del equipo para medición de difusividad



Del gráfico de temperaturas, para tiempos prolongados, se obtiene el desfase y amplitudes de las ondas térmicas



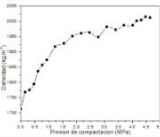
Adobe compactado

El gráfico de la derecha muestra el aumento de la resistencia a la compresión de los adobes compactados y con adición de cemento (0-20%). Se indican con líneas horizontales valores típicos de adobes sin compactar (rojo punteado) y de un ladrillo cocido (negro punteado).

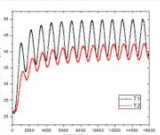
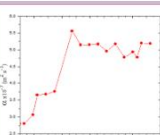
Para las mediciones de difusividad se prepararon las muestras cilíndricas de tierra compactada (Figura 2)



Otra consecuencia de la compactación es el aumento de la densidad. Puede llegar hasta 2 000 kgm⁻³ para presiones de compactación de 4.5 MPa (derecha)



Temperaturas del punto cercano (T_1) y alejado (T_2) de la fuente de calor (izquierda). Midiendo las amplitudes B_1, B_2 y el desfase Δt entre ellas, se obtiene α para diferentes presiones de compactación del adobe (derecha)

Maderas de uso nacional

Especies analizadas					
Nº	Madera	Masa (kg)	Pérdida masa en humedad (%)	Vol. 10 ⁻³ m ³	Densidad (kg/m ³) ± 2%
1	Palo Colorado	54.5	0.75	0.362	506
2	Cochayuyo	44.3	0.52	6.436	600
3	Cañahuate	37.2	0.64	6.436	579
4	Cambo	51.3	0.34	6.380	613
5	Almendra	47.1	0.22	6.256	754
6	Tornillo	41.4	0.34	6.320	605
7	Tacho	63.9	0.35	6.362	1.064

Temperatura Lab: 19° C, 22° C

Tenemos una gran diversidad de especies maderables. La difusividad es dependiente de sus proporciones relativas de fibras, lignina, hemicelulosa y agua. De las siete especies se nota que la almendra tiene una baja difusividad a pesar de tener una densidad intermedia. Pero según la tabla mostrada, es la que pierde menos agua por secado. Lo que podría indicar la influencia del contenido de agua sobre la difusividad.






CONCLUSIONES

- El método de Angström, originalmente pensado para metales conductores, puede aplicarse para medir la difusividad térmica en materiales complejos aislantes como el adobe y la madera.
- La difusividad térmica se incrementa desde $2,7 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ hasta $5,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ cuando la tierra se compacta de 0 hasta 4,7 MPa.
- Las especies de madera analizadas tienen difusividades entre $2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ a $4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$

PERSPECTIVAS

- Se buscará complementar las medidas de difusividad con las de conductividad térmica.
- Se medirán las difusividades de las maderas en tres direcciones ortogonales-

REFERENCIAS

Agustín Salazar. On thermal diffusivity. Eur. J. Phys. **24** (2003) 351–358
 Wilson Nunes dos Santos, et al. Thermal diffusivity of polymers by modified Angstrom method. Polymer Testing **29** (2010) 107–112

AGRADECIMIENTOS.

A los Srs. Víctor Quinde y José Farfán por su apoyo en la preparación de muestras.

**ANEXO 5. Artículo presentado al XXIV Simposio Peruano de Energía Solar.
Noviembre 2017**

XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIV- SPES), Huaraz, 13 -17.11.2017

**PROPIEDADES MECANICAS Y TERMICAS DE ADOBES
COMPACTADOS**

Isabel Chino – isabel.chino.delacruz@gmail.com

Abel Gutarra – agutarra@uni.edu.pe

Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias.

Resumen.

La presente investigación parte de la búsqueda de un material alternativo que presente un buen comportamiento térmico y una aceptable resistencia mecánica, usando en su fabricación elementos locales, fáciles de conseguir, de bajo costo y que su fabricación genere un bajo impacto ambiental.

El objetivo de la investigación es hacer adobes compactados a diferentes presiones y proporciones de cemento para luego caracterizar sus propiedades mecánicas y térmicas, la metodología para realizar la caracterización del suelo y ensayos mecánicos se basa en métodos estandarizados, así como métodos de campo replicables. Se hizo la clasificación del tipo de suelo, y la identificación de los componentes mineralógicos. Se fabricaron tipos de adobes sobre las que se estudió la influencia de la compactación y la presencia de porcentajes de cemento en el parámetro de resistencia a compresión, en cuanto a la caracterización térmica, se realizaron mediciones de difusividad en función a la presión de compactación, otro parámetro que se tomó en cuenta fue la Densidad, y el aumento de esta en función a la presión de Compactación, este parámetro es medible y comparable con otras unidades de albañilería. Los resultados obtenidos en comparación con la norma del adobe (E.080), norma de albañilería (E.070), y norma española (UNE 41410) resultan satisfactorios, presentándose este material como una opción confiable, digna de ser usada, logrando así la mejora de la calidad de vida ,al otorgarle una unidad de albañilería resistente y con un buen comportamiento térmico.

Summary

The present investigation is based on the search for an alternative material that exhibits a good thermal behavior and an acceptable mechanical resistance, using locally available, easy to obtain, low cost elements and that its manufacture generates a low environmental impact.

The objective of the research is to make compacted adobes at different pressures and proportions of cement to later characterize their mechanical and thermal properties, the methodology to perform the soil characterization and mechanical tests is based on standardized methods, as well as replicable field methods. The classification of the type of soil, and the identification of mineralogical components were made. The types of adobes were manufactured, on which the influence of compaction and the presence of cement percentages in the compression resistance parameter were studied. In terms of thermal characterization, diffusivity measurements were made as a function of the compaction pressure. Another parameter that was taken into account was the Density, and the increase of this as a function of the Compaction pressure, this parameter is measurable and comparable with other masonry units. The results obtained in comparison with the standard of adobe (E.080), standard of masonry (E.070), and Spanish standard (UNE 41410) are satisfactory, presenting this material as a reliable option, worthy of being used, thus achieving the improvement of the quality of life, by granting it a resistant masonry unit with a good thermal behavior.

Palabras-clave: *adobes compactados, bioclimática, resistencia mecánica, comportamiento térmico*

JOPES 2018

MANUFACTURING OF SOIL-CEMENT BLOCKS COMPACTED WITH IMPROVED THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES.

Isabel Chino De La Cruz– isabel.chino.delacruz@gmail.com
 Laboratorio de Materiales Nano estructurados
 Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias.

Introduction

Experimental development

I. Manufacture of compacted adobes.

- Preparation of the earth and mixed: Includes sieving and weighing of the dry components and water for the subsequent mixing.
- Arrangement of the mixture in mold: It tries the uniform distribution of the wet mass inside the matrix of compaction.
- Unmolding of compacted block. Includes stacking, drying and verification of environmental parameters.
- Pressing the mixture vertically must be ensured in order to have a symmetrical block.

II. Products obtained from the soil sample and evaluation.

soil sample, compacted adobe, Adobe prisms, Non-compacted test tubes, compacted test tubes

compression to the unit, bending of the unit, compression of prisms, compression of test tubes, Diffusivity measurement

Resultados

(1) Resistance to compression vs. Compaction pressure for different percentages by weight of cement.

(2) Optimal Compaction pressures based on Cement percentage

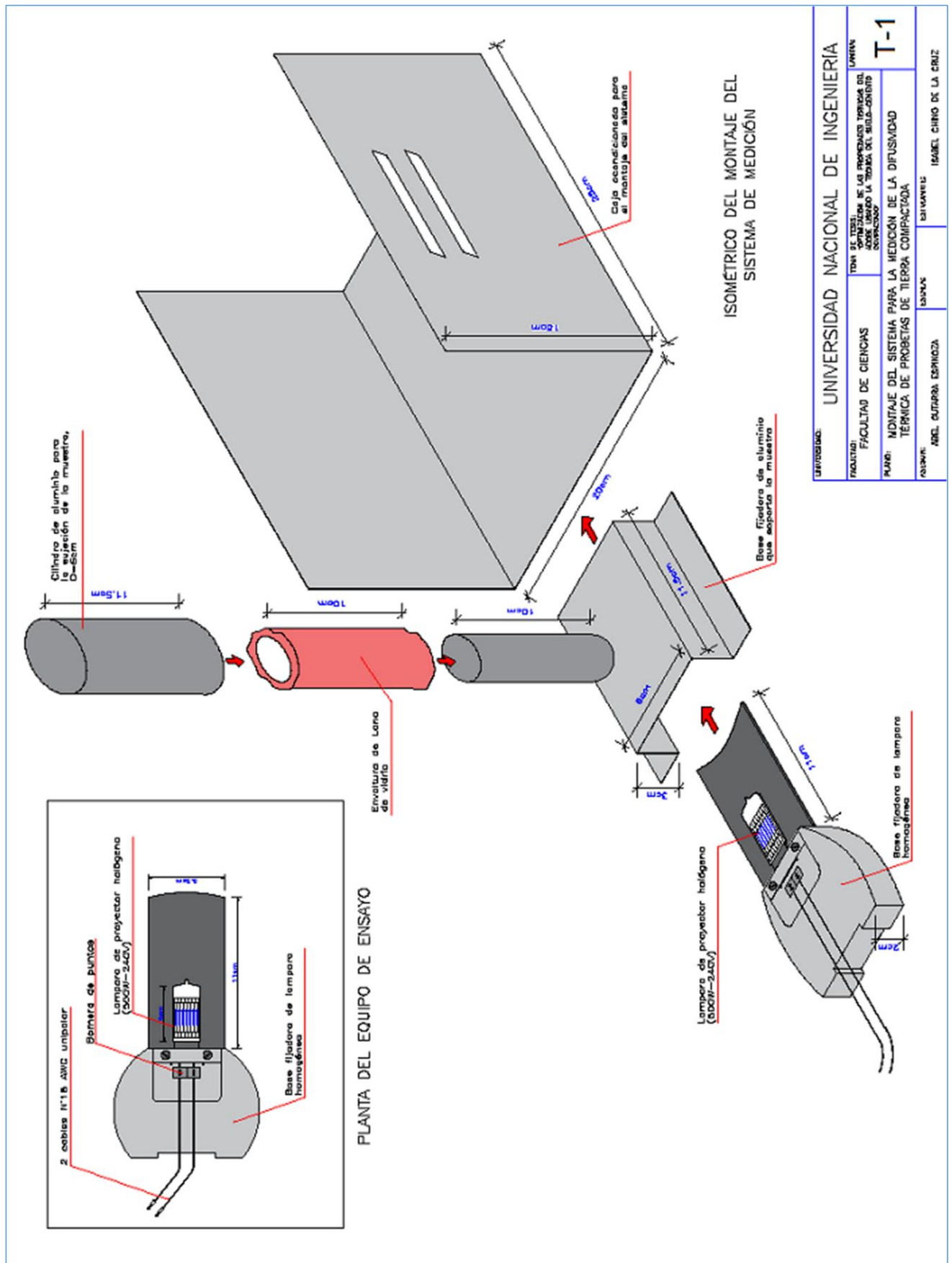
(3) Diffusivity of specimens according to the Compaction Pressure

Of the different types of adobes, it is observed that all comply with the requirements of the Adobe Standard (E.080, 2000), which requires a minimum value of compression resistance of 12kg / cm². The results obtained are compared with the compression strengths of other masonry units such as bricks, reaching values similar to Brick Type I, II and III, values taken from the Technical Standard of masonry (E.070, 2006); also with other foreign standards such as the Spanish standard that applies to compacted earth blocks (UNE 41410, 2010); where the standard compression resistance for compacted blocks is in the ranges of 1.3, 3 and 5 N / mm² which is equivalent in MPa, for which the compacted bricks are in a range from 1 to 12 MPa, according to (UNE 41410, 2010); the blocks of 1.3 and 3 MPa are of low resistance the block of 5MPa considered of medium resistance, and higher than these values, they are considered, "Highly compacted earth blocks of high resistance".

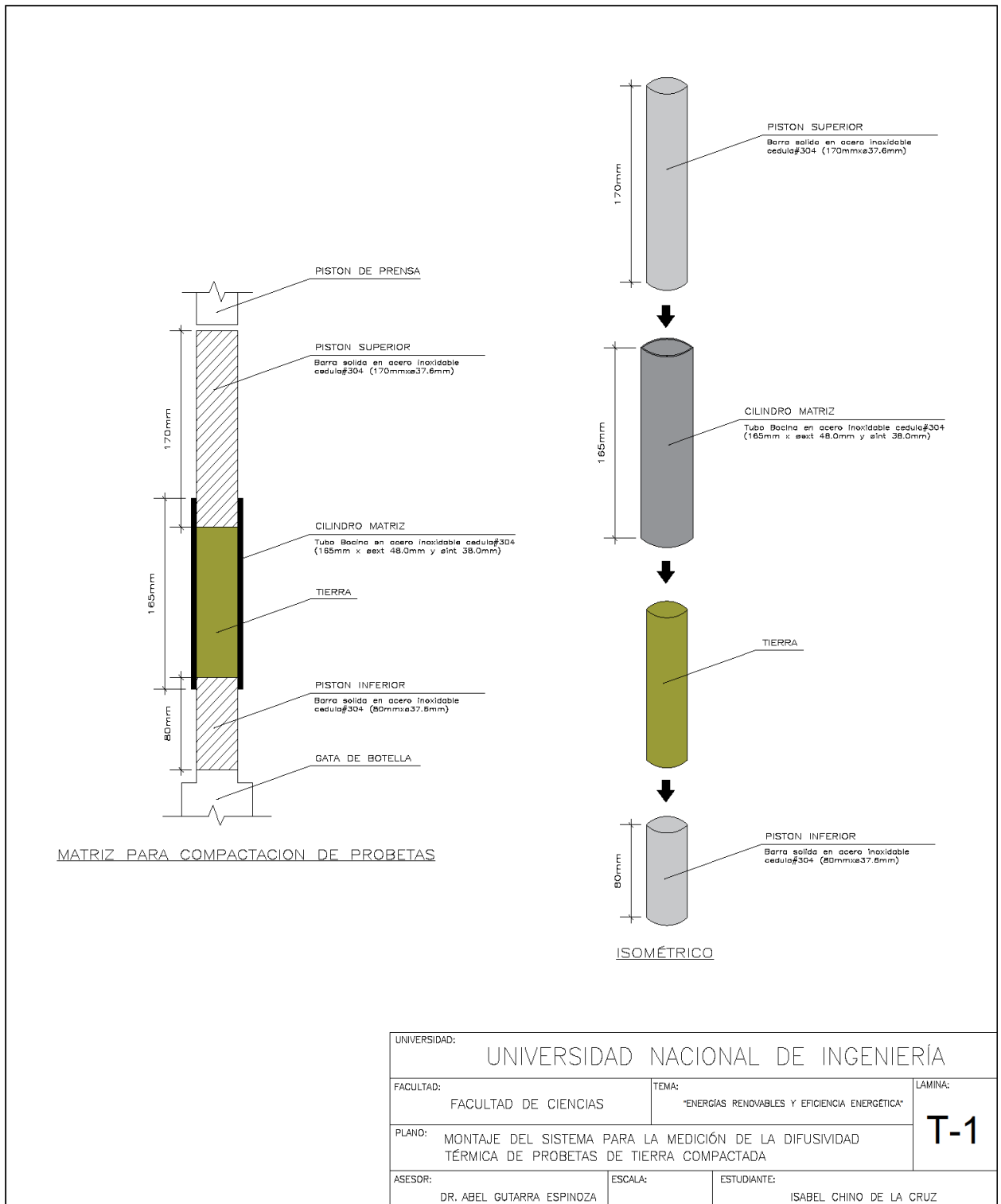
The Angström method, originally designed for conductive metals, can be applied to measure thermal diffusivity in complex insulating materials such as adobe. The thermal diffusivity increases from 2.5 * 10⁻⁷ m²s⁻¹ to 5.3 * 10⁻⁷ m²s⁻¹ when the earth is compacted from 0 to 4.7 MPa.

Acknowledgement

ANEXO 7. Diagrama del Sistema de medición de difusividad térmica.



ANEXO 8. Diagrama del molde matriz para fabricación de probetas cilíndricas compactadas.



ANEXO 9. Diagrama del molde matriz para fabricación de adobes compactados.

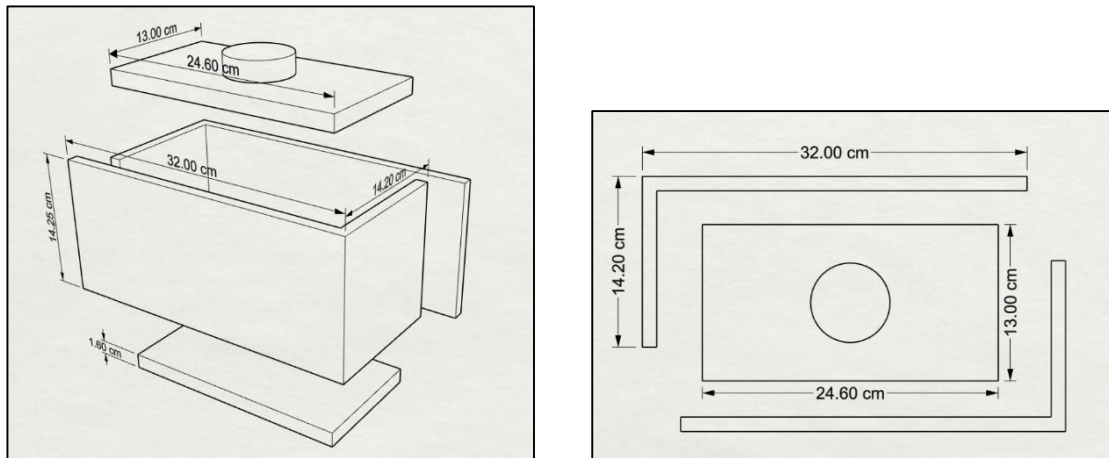


Figura. Diagrama de molde matriz para fabricación de adobes compactados, Vista lateral: matriz, base y tapón, Vista de planta: Tapón y paredes laterales.



Figura. Molde matriz para fabricación de adobes compactados, Unidades fabricadas, bloques compactados