



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**  
Tesis previa a la obtención del título de Arquitecto

# EL TAPIAL ALIVIANADO

**AUTORES:** Andrés Alejandro Cárdenas Alvarez - Julio Ismael Sarmiento Avilés  
**DIRECTOR:** Ing. Xavier Ricardo Cárdenas Haro.

Octubre 2017  
**Cuenca - Ecuador**





UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
Tesis previa a la obtención del título de Arquitecto

# EL TAPIAL ALIVIANADO

Andrés Alejandro Cárdenas Alvarez (C.I. 0302597711) - Julio Ismael Sarmiento Avilés (C.I. 0105352876)

DIRECTOR:  
Ing. Xavier Ricardo Cárdenas Haro. (C.I. 0103405338)

Octubre 2017  
Cuenca - Ecuador

## **Resumen**

*En los últimos años alrededor del mundo han sido construidos una serie de proyectos en base a tierra cruda apisonada, demostrando el alto interés arquitectónico en el uso de la tierra. Esta técnica es conocida en Latinoamérica como tapial, misma que tiene un origen vernáculo y funciona como un muro portante de gran masa térmica. La tierra como material de construcción es utilizada en los cinco continentes especialmente en las zonas templadas y frías; con grandes rasgos culturales y expectativas, que fácilmente puede ser usada en la arquitectura contemporánea.*

*Poco a poco la materia prima al rededor del mundo se está agotando, por tal motivo es necesario incentivar la búsqueda de otros recursos para realizar arquitectura responsable y porque no hacerlo mediante el uso de materiales y técnicas que ya han sido probadas por nuestros antepasados. La tierra debe ser estudiada partiendo de lo ancestral; para luego proponer un uso en la actualidad; la investigación expone los resultados de un programa que intenta abordar el tema del alivianamiento del tapial; empieza analizando las normas vigentes sobre el tapial y determina el suelo apto para la construcción de muros de tapia; mediante el uso de técnicas ancestrales y ensayos científicos, tales como: granulometría, densidad, Proctor, resistencia a la compresión, flexión, compresión diagonal, entre otros.*

*Luego compara la técnica tradicional con 9 variaciones que experimentamos con el propósito de reducir el peso del material; fueron elaboradas alrededor de 116 muestras con diferentes tamaños y formas; de los cuales 50 presentan diferentes materiales como “Policloruro de Vinilo”, “Poliestireno Expandido”, y la “Cabuya”, también 66 ejemplos adicionales que incluyen muretes y probetas para determinar detalladamente las características físicas y mecánicas que la técnica nos ofrece.*

*Los resultados ofrecen una comparación clara entre ensayos ancestrales y métodos científicos, lo cual permiten avanzar en una propuesta innovadora de rescatar la técnica del tapial con un ahorro de material, proponiendo el alivianamiento de los muros con la combinación de nuevos materiales.*

**Palabras clave:** Tapial, tapia, taipa de pilao, tierra apisonada, alivianamiento, muestras, muros, ensayos mecánicos, ensayos ancestrales, suelos, muestras, pisé, stampflehm.

## **Abstract**

*In the last years in the world many projects have been built based on raw earth rammed, demonstrating the high architectural interest in the use of the land. This technique is known in Latin America as "tapias", which has a vernacular origin and functions as a bearing wall of great thermal mass. Earth as construction material is used in the five continents in the temperate and cold zones, with great cultural features and expectations, which can be used in contemporary architecture.*

*Little by little the raw material around the world is running out, for this reason it is necessary to encourage the search of other resources to make responsible architecture and because it can not be done by using materials and techniques that have already been tested by our ancestors. Earth must be studied from ancestral experiences and make investigations to propose its use at present; the research exposes the results of a program that tries to address and approach the subject of the alleviation of the rammed earth. The research begins with the revision of global standards on rammed earth and soil determination suitable for use in the construction of rammed earth walls using ancestral techniques and scientific laboratory tests such as granulometry, humidity, Atterberg boundaries, density, Proctor, compressive strength, bending, diagonal compression, among others.*

*Then the research compares the traditional technique with 9 variations that we experimented with the purpose of reducing the weight of the material. Around 116 samples with different sizes and shapes were elaborated. Which 50 samples have different materials, compositions and shapes including "Vinyl Polychloride", "Expanded Polystyrene", and "Cabuya". There are also 30 additional examples that include walls and test tubes to deeply determine the physical and mechanical characteristics of the technique.*

*The results offer a clear comparison between ancestral trials and scientific methods, which give an innovative proposal to rescue the rammed earth technique while it saves materials, proposing the lightening of the walls with the combination of new materials.*

**Keywords:** Rammed Earth, soil, unstabilized, walls, ancestral techniques, mechanic tests, alivianation, scientific laboratory tests

## TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 Introducción a la técnica constructiva del tapial	10
Introducción a la construcción con tierra .....	12
La vivienda vernácula.....	20
Técnicas vernáculas utilizadas en el Ecuador .....	24
Construcción con tapial en el Ecuador .....	28
El tapial en el austro ecuatoriano.....	29
Obras representativas construidas en tapial en el Ecuador .....	30
Conclusiones capítulo 1 .....	32
CAPÍTULO 2 Aspectos físicos y factores que intervienen en la elaboración del tapial	34
Normativa del tapial.....	37
Pruebas ancestrales, empíricas o de campo .....	52
Pruebas o ensayos de laboratorio .....	58
Conclusiones capítulo 2 .....	68
CAPÍTULO 3 Consideraciones generales y procesos para alivianar el tapial	70
El tapial aplicado a la arquitectura contemporánea .....	72
La tierra como material de construcción .....	74

Modernización del tapial .....	78
¿Por qué alivianar el tapial? .....	88
Procesos necesarios para la elaboración de las muestras .....	98
Formas y tamaños de las muestras a experimentar .....	102
Conclusiones capítulo 3 .....	112

---

CAPÍTULO 4 Metodología y resultados 114

---

Introducción a los análisis .....	116
Análisis de la tierra seleccionada .....	119
Resultados del tapial estudiado frente a normas internacionales .....	125
Resultados de los modelos estudiados .....	128
El alivianamiento del tapial .....	148
Conclusiones capítulo 4 .....	156

---

BIBLIOGRAFÍA 158

---

---

ANEXOS 164

---

## IMÁGENES

---

Imagen a1: Templo de Ramsés II.....	12
Imagen a2: Ciudad de Caral Perú.....	13
Imagen a3: Ciudad de Caral Perú.....	13
Imagen a4: La gran muralla china .....	14
Imagen a5: La gran muralla china .....	15
Imagen a6: Ciudad prehispánica de Teotihuacán.....	16
Imagen a7: Fujian Tulou.....	18
Imagen a8: Fujian Tulou.....	18
Imagen a9: Stamflehmhäuser en Weilburg Alemania casa en tapial.....	19
Imagen a10: Alhambra, Generalife y Albayzin, Granada (Spain).....	19
Imagen a11: Ksar of Ait-Ben-Haddou (Marruecos) .....	19
Imagen a12: El palacio de Potala o templo Lhansa – Tibet .....	19
Imagen a13: Detalle casa vernácula de piedra en Ecuador .....	20
Imagen a14: El Cajos en la provincia del Azuay-Ecuador .....	22
Imagen a15: Cordillera de los Andes en la zona de Ecuador .....	22
Imagen a16: Muros de tapial para limitar los cultivos.....	23
Imagen a17: Casa de adobe Mariscal Lamar Airport: vivienda vernácula Austro del Ecuador.....	24
Imagen a18: Casa en San Martín de Puzhio [Fotografía]. Azuay, Ecuador.....	25
Imagen 19: Casa vernácula con muros de piedra [Fotografía]. Azuay, Ecuador.....	26
Imagen a20: Casa vernácula con muros de piedra[Fotografía]. Azuay, Ecuador .....	26
Imagen a21: Casa en San Martín de Puzhio [Fotografía]. Azuay, Ecuador.....	27
Imagen a22: Casa vernácula con muros de piedra[Fotografía]. Azuay, Ecuador .....	30
Imagen a23: Vista interior del Hospital. [Fotografía]. Azuay, Ecuador .....	31
Imagen a24: Textura tapial en hospital. [Fotografía]. Azuay, Ecuador .....	31
Imagen b1: Tapial tradicional de la comarca de Els Ports, Castellón.....	36
Imagen b2: Tierra extraída ya en laboratorio para su posterior análisis .....	40
Imagen b3: Terminología de los elementos que comprenden el tapial.....	43
Imagen b4: Pisones manuales con cabezas diferentes.....	44
Imagen b5: Tipos de pisones manuales .....	45
Imagen b6: Pisones neumáticos. .....	45
Imagen b7: Compactación con pison neumático. ....	45
Imagen b8: Colocación de agua en el suelo para la fabricación de tapiales. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	47
Imagen b9: Colocación de agua en el suelo para la fabricación de tapiales. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	47
Imagen b10 Colores de tierra.....	52
Imagen b11: Ensayo de sedimentación [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	53
Imagen b12 b13: Ensayo de sedimentación [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	53

Imagen b14	b15: Ensayo de la cinta [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	54
Imagen b16	b17: Ensayo de la cinta [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	54
Imagen b18:	Ensayo de la pastilla [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	54
Imagen b19:	Ensayo de la pastilla [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	54
Imagen b20:	Ensayo lavado de manos [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	55
Imagen b21:	Ensayo lavado de manos [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	55
Imagen b22:	Ensayo caída de la bola [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	55
Imagen b23:	Ensayo caída de la bola [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	55
Imagen b24:	Ensayo de cuarteo de la muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	58
Imagen b25:	Ensayo de cuarteo de la muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	58
Imagen b26:	Ensayo de lavado de la tierra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	59
Imagen b27:	Ensayo de lavado de la tierra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	59
Imagen b28:	Ensayo de granulometría [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	60
Imagen b29 y b30:	Ensayo de granulometría [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	60
Imagen b31:	Ensayo de humedad. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	61
Imagen b32:	Ensayo de humedad [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	61
Imagen b33:	Ensayo de límite líquido. Materiales y equipos [Fotografía] . Cuenca, Ecuador .....	62
Imagen b34:	Ensayo de límite líquido. Ranurado de la muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	62
Imagen b35:	Ensayo de límite líquido. División previa a la toma de muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	62
Imagen b36:	Ensayo de límite líquido. Toma de una fracción para el posterior secado en horno. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	62
Imagen b37:	Ensayo de límite plástico. Equipos y materiales [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	63
Imagen b38:	Ensayo de límite líquido. Rollos realizados con la muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	63
Imagen b39:	Ensayo de desnidad. Colocacion de la muestra con el embudo [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	64
Imagen b40:	Ensayo de densidad. Equipos y materiales [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	65
Imagen b41:	Ensayo de densidad. muestra colocada en el picnómetro [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	65
Imagen b42:	Ensayo de densidad. Picnómetro colocado en equipo de baño maría [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	65
Imagen b43:	Ensayo de densidad. Medición de los resultados [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	65
Imagen b44:	Ensayo de proctor estándar. Equipos y materiales [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	66
Imagen b45:	Ensayo de proctor estándar. Compactación del material mediante 25 golpes [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	67
Imagen b46:	Ensayo de densidad. Toma de muestras para el calculo de humedad [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	67
Imagen c1:	Vivienda en tapias Arq. Juan Pablo Vasquez. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	72
Imagen c3:	Escuela de Artes Visuales de Oaxaca / Taller de Arquitectura. Mauricio Rocha .....	74
Imagen c4:	Escuela de Artes Visuales de Oaxaca / Taller de Arquitectura. Mauricio Rocha .....	74
Imagen c5:	Casa de tapias.....	76
Imagen c6:	Garangula Art Gallery, Harden, NSW .....	77
Imagen c7:	Windhover contemplative center .....	78
Imagen c8:	American AGcredit lobby.....	79
Imagen c9:	Buena Vista Residence. ....	79
Imagen c10:	Pre-Cast rammed earth panels.....	79

Imagen c11: St. Helena Residence.....	79
Imagen c12: Panel de tierra apisonada .....	80
Imagen c13: Colocacion de tierra en el encofrado.....	81
Imagen c14: Compactacion mecanica de los muros.....	81
Imagen c15: Traslado de los paneles en la fábrica .....	81
Imagen c16: Paneles de tapial terminados .....	81
Imagen c17: Vista exterior de la casa .....	82
Imagen c18: Vista desde la calle principal .....	83
Imagen c19: Ingreso principal .....	83
Imagen c20: Ingreso a la vivienda.....	84
Imagen c21: Dormitorio principal .....	85
Imagen c22: Baño social .....	85
Imagen c23: Ingreso principal .....	86
Imagen c24: Salon de piscina .....	87
Imagen c25: Iluminacion en sala de piscina .....	87
Imagen c26: Paillos del complejo .....	87
Imagen c27: Kindergarten Ursula Nikodem-Edlinger. ....	88
Imagen c28: Kindergarten Baya. Proceso constructivo con tierra del mismo lugar. ....	89
Imagen c29: Kindergarten Baya. Edificacion terminada. ....	89
Imagen c30: Kindergarten Baya. Muro de tapial con PVC .....	89
Imagen c31: Kindergarten Baya. Edificacion terminada. ....	89
Imagen c32: Casa de la Makana . [Fotografía]. Paute, Ecuador. ....	90
Imagen c33: Valle de Paute. Lugar de extracción del material. [Fotografia]. Paute, Ecuador. ....	91
Imagen c34: Varias formas de EPS .....	92
Imagen c35: Fibras de cabuya.....	94
Imagen c36: Planta de cabuya .....	95
Imagen c37: Fibra de cabuya procesada .....	95
Imagen c38: Fabricacion de cabuya .....	95
Imagen c39: Puente de cabuya.....	95
Imagen c40: Policloruro de vinilo cortado para las muestras . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador. ....	96
Imagen c41: Productos Sika.....	97
Imagen c42: Compactación en muretes. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	98
Imagen c43: Compactación en muestras pequeñas tipo 1. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	98
Imagen c44: Compactación en muestras pequeñas tipo 4. [Fotografia]. Cuenca, Ecuador.....	99
Imagen c45: Compactación en muretes. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	101
Imagen c46: Compactación en muestras pequeñas tipo 1. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	101
Imagen c47: Tapialrera para muestras tipo 1. [Fotografia]. Cuenca, Ecuador. ....	104
Imagen c48: Molde para muestras tipo 5. [Fotografia]. Cuenca, Ecuador.....	104
Imagen c49: Molde para muestras tipo 1. [Fotografia]. Cuenca, Ecuador.....	104

Imagen c50: Tapiadera para muestras tipo 2. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	104
Imagen c51: Tapiadera para muretes . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	105
Imagen c52: Moldes para muestras tipo 1 de 5x5x5cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	106
Imagen c53: Desmoldado muestras tipo 1 de 5x5x5cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	106
Imagen c54: Muestras tipo 1 de 5x5x5cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	106
Imagen c55: Prueba a compresion de muestras tipo 1 de 5x5x5cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	106
Imagen c56: Desencofrado de muestras tipo 2 de 10x10x10cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	107
Imagen c57: Muestra tipo 2 de 10x10x10cm con bajo contenido de humedad. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	107
Imagen c58: Muestras tipo 2 de 10x10x10cm con alto contenido de humedad. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	107
Imagen c59: Secado de muestras tipo 2 de 10x10x10cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	107
Imagen c60: Fabricación de muestras tipo 3 de 10x30x15cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	108
Imagen c61: Desencofrado de muestras tipo 3 de 10x30x15cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	108
Imagen c62 y c63: Desencofrado de muestras tipo 3 de 10x30x15cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	108
Imagen c64: Muestra tipo 3 de 10x30x15cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	108
Imagen c65: Muestras tipo 4 de 15x30x15cm ..[Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	109
Imagen c66: Muestras tipo 4 con PVC de 15x30x15cm ..[Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	109
Imagen c67: Muestras tipo 4 con espuma flex de 15x30x15cm ..[Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	109
Imagen c68: Muestras tipo 4 con espuma flex de 15x30x15cm ..[Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	109
Imagen c69: Muestras tipo 4 de 15x30x15cm ..[Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	110
Imagen c70: Muestras tipo 4 cabuya mas PVC de 15x30x15cm ..[Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	110
Imagen c71: Muestras tipo 4 de 15x30x15cm ..[Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	110
Imagen c72: Muestras tipo 5 en cilindro ASTM. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	112
Imagen c73: Ensayo a compresion de muestras tipo 5 en cilindro ASTM. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	112
Imagen c74: Muestras tipo 5 en cilindro ASTM. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	112
Imagen c75: Fabricacion de muestras tipo 6 muretes de 20x60x60cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	113
Imagen c76: Muestras tipo 6 muretes de 20x60x60cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	113
Imagen c77: Muestras tipo 6 muretes de 20x60x60cm.[Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	113
Imagen c78: Desencofrado de muestras tipo 7 muretes de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	114
Imagen c79: Desencofrado de muestras tipo 7 muretes de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	114
Imagen c80: Desencofrado de muestras tipo 7 muretes de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	114
Imagen c81: Prueba tracción diagonal en muestras tipo 7 murete de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	115
Imagen c82: Prueba de tracción diagonal en muestras tipo 7 murete de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	115
Imagen c83: Murete 20x60x60cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	115
Imagen d1: Muestras realizadas en el laboratorio. Estudio del suelo. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	120
Imagen d2: Ensayo de granulometría. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	125
Imagen d3: Tierra con diferente porcentaje de humedad para la fabricacion de muestras tipo II. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	133
Imagen d4: Tierra con con porcentaje de humedad mínimo. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	133
Imagen d5: Tierra con con porcentaje de humedad máximo. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	133
Imagen d6: Muestras tipo II fabricadas con un porcentaje de humedad diferente. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	133

Imagen d7: Muestras tipo IV modelo A y Tipo V. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	137
Imagen d8: Ruptura de muestras a los 28 días de secado. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	138
Imagen d9: Fabricación de muestras tipo IV modelo A. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	139
Imagen d10: Fabricación de muestras tipo IV modelo A. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	139
Imagen d11: Registro del peso de las muestras [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	140
Imagen d12: Fabricación de muestras tipo IV modelo A. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	142
Imagen d13: Fabricación de muestras tipo IV modelo A. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	142
Imagen d14: Ensayo de muestras tipo IV modelo I a flexión. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	144
Imagen d15: Murete ensayado a compresión. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	147
Imagen d16: Murete ensayado a compresión diagonal. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	147
Imagen d17: Prueba de resistencia a la flexión muestra tipo IV modelo I [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	150
Imagen d18: Materiales para pruebas de alivianamiento. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	152
Imagen d19: Preparación de muestra tipo IV modelo H [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	153
Imagen d20: Tierra mezclada con poliestireno expandido [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	153
Imagen d21: Muestra tipo IV modelo F con poliestireno expandido. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	154
Imagen d22: Muestra tipo IV modelo G de PVC. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador .....	154
Imagen d23: Muestra tipo IV modelo D con poliestireno expandido. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	155
Imagen d24: Muestra tipo IV modelo I de cabuya más PVC. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.....	155

## FIGURAS

---

Fig. 1: Mapa político del Ecuador por regiones. ....	29
Fig. 2: Zonas de viviendas con tapial en el Ecuador. ....	36
Fig. 3 y 4: Esquema de emplazamiento Hospital Mieguel Moreno Vásquez. ....	39
Fig. 5: Mapa de las áreas donde existen construcciones de tierra. ....	81
Fig. 6: Forma de muestras realizadas para la investigación. ....	106
Fig. 7: Curva de saturación esquemática. ....	120

## TABLAS

---

Tabla 1. Línea del tiempo del Tapial .....	25
Tabla 2. Lista de documentos más importantes sobre el tapial .....	47
Tabla 3. Proporciones del suelo recomendados para elaborar tapial.....	49
Tabla 4. Máximo tamaño de la partícula (mm) .....	50
Tabla 5. Características del piso .....	54

Tabla 6. Detalles para ensayos de resistencia a la compresión en laboratorios.....	57
Tabla 7. Datos físicos de espumas rígidas.....	101
Tabla 8. Resumen de muestras elaboradas .....	107
Tabla 9. Resumen de muestras elaboradas .....	115
Tabla 10. Resumen de ensayos físicos y mecánicos con sus respectivas normas.....	128
Tabla 11. Resultados de ensayos de límites de Atterberg .....	129
Tabla 12. Cuadro resumen del ensayo de granulometría (promedio de 3 ensayos) .....	130
Tabla 13. Cuadro resumen para los datos del ensayo para el ensayo de proctor estándar.....	133
Tabla 14. Cuadro de resultados del ensayo de densidad .....	134
Tabla 15. Números de muestras y resistencia a la compresión .....	135
Tabla 16. Comparación de las resistencias mínimas mundiales con el tapial estudiado.....	137

## GRÁFICOS

---

Grafico 1. Límites de Atterberg- Muestra de Paute.....	129
Grafico 2. Curva granulométrica muestra de paute .....	131
Grafico 3. Diagrama de densidad seca vs humedad .....	132
Grafico 4. Comparación de resistencia a la compresión alcanzada en los tapiales .....	136
Grafico 5. Comparación de la resistencia mínima a compresión según normas mundiales .....	137
Grafico 6. Diagrama de resistencia a la compresión versus humedad del modelo tipo II.....	140
Gráfico 7. Variación de humedad en la muestra IV modelo A después de 28 días.....	141
Grafico 8. Variación de humedad de las muestras .....	141
Grafico 9. Resultados de resistencia a compresión modelo tipo IV a 7, 14, 21 y 28 días.....	142
Grafico 10. Resultados de resistencia a compresión modelo tipo V a 7, 14, 21 y 28 días.....	143
Gráfico 11. Comparación de comportamiento de las muestras IV y V .....	144
Grafico 12. Variación de humedad en las muestras Tipo IV.....	146
Gráfico 13. Variación de resistencia a la compresión de la muestra tipo IV modelos A-J .....	147
Gráfico 14. Promedio de la variación de resistencia a la compresión de muestras Tipo IV .....	148
Gráfico 15. Resumen de la resistencia a la flexión de la muestra tipo IV modelo A-J.....	149
Gráfico 16. Diagrama esfuerzo deformación de las muestras especificadas 1 .....	150
Gráfico 17. Diagrama esfuerzo deformación de las muestras especificadas 2 .....	151
Gráfico 18. Diagrama esfuerzo deformación de mueretes de tapial tipo VI muestra 1 y 2 .....	152
Gráfico 19. Diagrama esfuerzo deformación de mueretes de tapial tipo VII muestra 1 y 2 .....	153
Gráfico 20. Variación de peso en las muestras IV, respecto al tapial normal .....	160
Gráfico 21. Variación de la carga en las muestras IV, respecto al tapial normal.....	161



Universidad de Cuenca

Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio Institucional

Andrés Alejandro Cárdenas Alvarez en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “El tapial alivianado”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre de 2017

Andrés Alejandro Cárdenas Alvarez

C.I: 0302597711

Julio Ismael Sarmiento Avilés en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “El tapial alivianado”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, octubre de 2017

Julio Ismael Sarmiento Avilés

C.I: 0105352876



Universidad de Cuenca

Cláusula de Licencia y Autorización para Publicación en el Repositorio Institucional

---

Yo, Andrés Alejandro Cárdenas Alvarez, autor del trabajo de titulación “El tapial alivianado”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, octubre de 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Andrés Alejandro Cárdenas Alvarez".

Andrés Alejandro Cárdenas Alvarez

C.I: 0302597711

Yo, Julio Ismael Sarmiento Avilés, autor del trabajo de titulación “El tapial alivianado”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, octubre de 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Julio Ismael Sarmiento Avilés".

Julio Ismael Sarmiento Avilés

C.I: 0105352876

#### DEDICATORIA Andrés

Quiera dedicar esta investigación a papá Dios, mis padres Rosa y Bosco, mis hermanos Mónica, Mario, Adriana, Janina, mis cuñados y sobrinos, mis compañeros, mis amigos y todos quienes estuvieron en cada momento que los necesite; ustedes han sido la motivación y el empuje para seguir con mi formación profesional.

#### DEDICATORIA Ismael

Primeramente a Dios, quien me ha dado la fuerza para salir de todas las dificultades durante la carrera. A mis padres Oswaldo S. y Susana A. por ser el principal apoyo, y un gran ejemplo para mí vida. A mis hermanas Angie y Karina por su ayuda y consejos. A mi sobrina Isabella por llenar de alegría mis tardes de trabajo con sus ocurrencias. Finalmente a los amigos que me han acompañado en toda la carrera. A todos un enorme gracias porque sin su apoyo no habría sido posible culminar esta etapa de formación.

## AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento a nuestro director de tesis, el ingeniero Xavier Cárdenas Haro por su apoyo incondicional durante el transcurso de esta investigación, especialmente por su paciencia y gran amistad. A nuestra familia y amigos que todo el tiempo han estado presentes en este largo proceso de formación. A todo el cuerpo docente encargado laboratorios, por la ayuda brindada, finalmente a todas aquellas personas que han brindado su apoyo para poder culminar con éxito este trabajo....

**Objetivo General:**

- Dar a conocer el tapial alivianado como alternativa constructiva aplicable en edificaciones contemporáneas.

**Objetivos Específicos:**

- Experimentar mediante el uso de ensayos la técnica constructiva a través de varias muestras para generar un muro más ligero que el tapial original.
- Comparar las propiedades físicas de un tapial original con un tapial alivianado mediante la confrontación de muestras y datos obtenidos en el laboratorio.
- Encontrar por medio de las muestras ensayadas el diseño óptimo de la relación resistencia versus peso específico mediante la utilización de materiales alivianados.

## Introducción

La construcción con tierra es la práctica constructiva más difundida del ser humano, que indiscutiblemente en los últimos años decreció debido a las nuevas tendencias en la arquitectura. Sin embargo, a mediados del siglo pasado varios expertos en construcción comenzaron a redescubrir las bondades de la tierra como material para el habitad humano y despertando curiosidad en muchas áreas humanas.

Con el paso de los años la iniciativa fue tomando fuerza en todos los continentes, expandiendo sus objetivos iniciales a través de la modernización e innovación del estudio de las técnicas milenarias. En la presente investigación desarrollamos un sistema constructivo alternativo, usando la tierra como material base, mientras rescatamos una técnica ancestral conocida en Ecuador como tapial.

La idea central será analizar la técnica en su estado vernáculo, de la forma en la que llego a nuestros días; en un sector del país que posee gran cantidad de obras en tapial, luego abordaremos los análisis ancestrales y de laboratorio con muestras de tierra del lugar, conociendo su comportamiento físico y mecánico. Finalmente desarrollar propuestas de alivianamiento, y así poder registrar su comportamiento, logrando hacer un material más competitivo y utilizable en el medio y eficiente.

Los beneficios de la construcción con tierra siguen sorprendiendo al mundo y aún nos queda mucho por aprender. Este arte de construir con tierra apisonada podría llegar a trascender a distintas escalas como: arquitectónicas, culturales, económicas, ambientales, sostenibles y sociales. En consecuencia, la investigación enfocara sus esfuerzos a rescatar una técnica milenaria en proceso de extensión, mientras proponemos un proceso constructivo que sirva como un nuevo camino para hacer arquitectura contemporánea que perdure en el tiempo.

*“La arquitectura moderna no significa  
el uso de nuevos materiales, sino  
utilizar los materiales existentes de  
una forma más humana”*

Alvar Aalto

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL



# capítulo 1 INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL

## 1.1. Introducción a la construcción con tierra

La construcción en tierra, es uno de los ejemplos que desafían al tiempo y a su vez es la mayor práctica constructiva que el ser humano ha experimentado desde que se conoce la historia, prueba de ello son las edificaciones patrimoniales que han perdurado y siguen causando admiración. Existe evidencia de obras construidas en tierra, desde hace más de 9000 años en Asia y Europa, en una región llamada Turquestán Rusa, que hoy en día pertenece a los países ubicados entre Rusia y China (Minke, 2005, p.13). Varias investigaciones manifiestan obras construidas en tierra, pero no solo tratan de viviendas, sino obras que llegaron a trascender a escalas monumentales como: el templo de Ramsés II en el sur de Egipto(ver imagen a1), que data del año 3200 a.C. (Lauris Birznieks, 2013, p.6); años más tarde, en Irán existe evidencia de ciudades

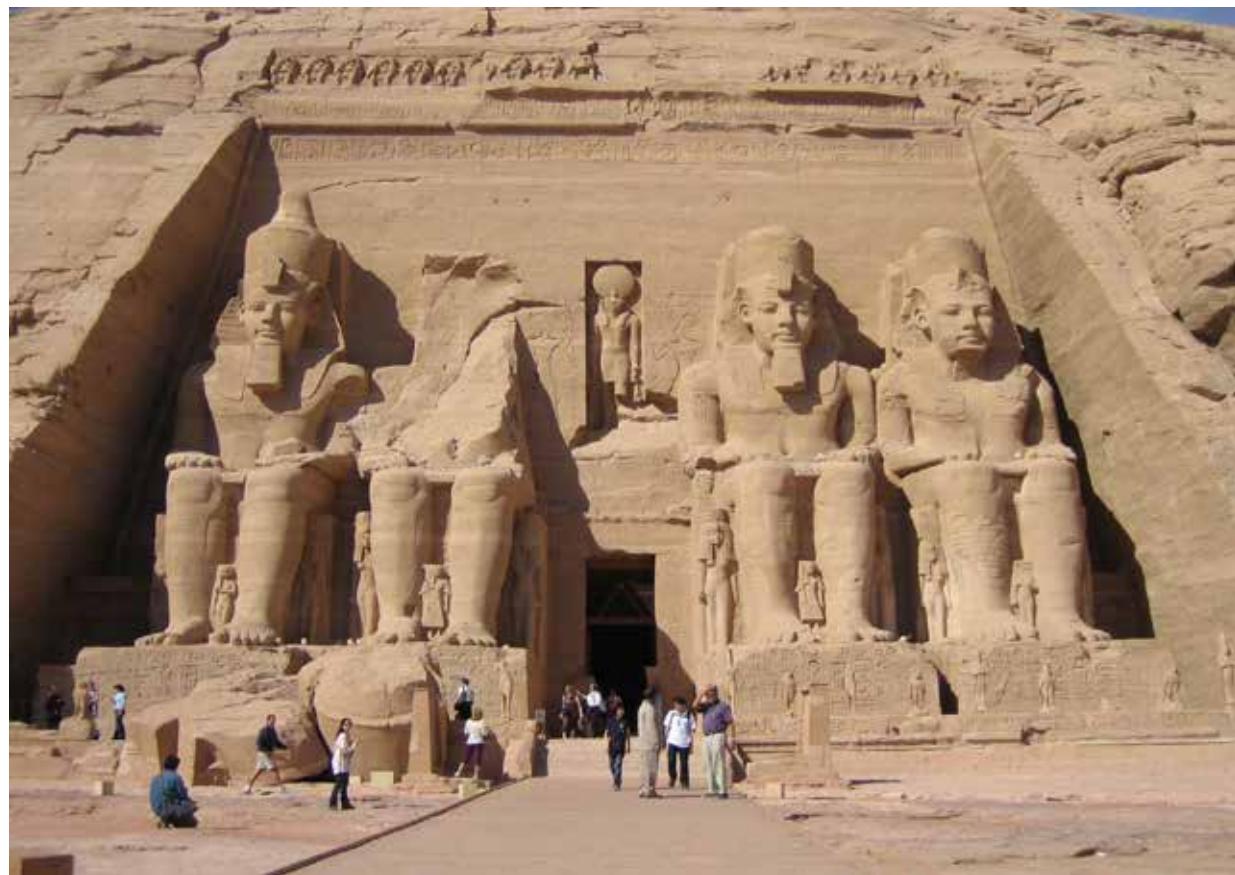


Imagen a1: Templo de Ramsés II Fuente: <http://whc.unesco.org/es/list/88#top>

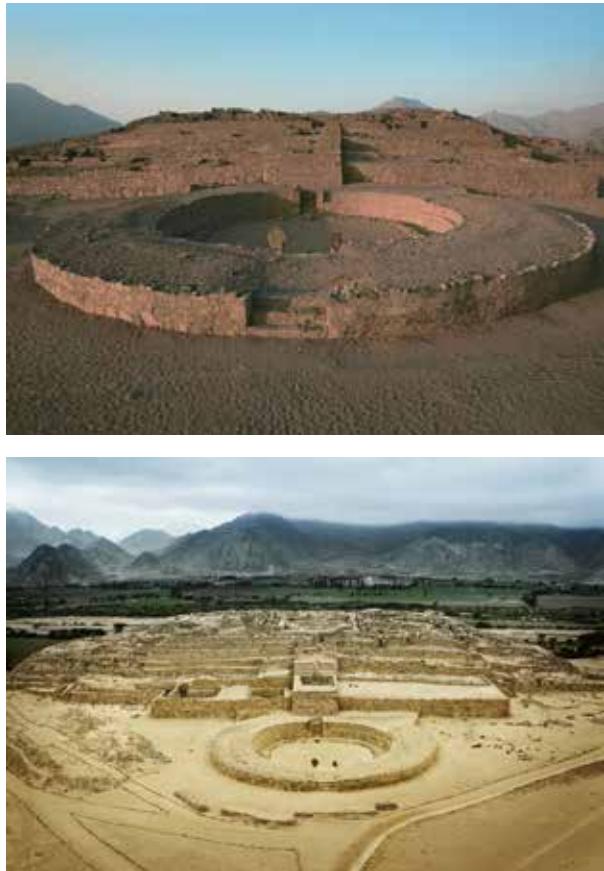


Imagen a2: Ciudad de Caral Perú. Fuente: <http://whc.unesco.org/es/list/1269#top>  
Imagen a3: Ciudad de Caral Perú. Fuente: <http://www.radionacional.com.pe/sites/default/files/noticias/plaza%20piramide%20caral.jpg>

como Bam, que posee partes que datan del año 2500 a.C. (Minke, 2006, p.12); sin embargo, esa región no es la única en la cual aparecen obras monumentales construidas en tierra, en América Latina la ciudad de Caral en Perú (ver imágenes a2 y a3), la cual cubrió una área de 626 hectáreas, fue destinada para actividades de carácter religioso; estudios recientes afirman que tiene alrededor de 5000 años.

Al rededor del planeta, hubo también otras ciudades enteras moldeadas con tierra cruda, tal es el caso de Jericó en Palestina, Catal Huyuc en Turquía, Harappa en Pakistán, Akhlet-Anton en Egipto, Chan Chan en Perú, Babilonia en Iraq, Zuheros en España, entre otros. Con el paso del tiempo, estas grandes civilizaciones reemplazaron la tierra cruda por otros materiales como el caso del ladrillo cocido (Easton, 2007, p.4); a pesar de estos cambios, la tierra en su estado natural es un material extensamente usado en la construcción, tanto

en las Areas urbanas como en las zonas rurales; acorde a varios expertos e investigadores, el 33% de la población mundial vive en edificaciones de tierra; inclusive en países en vías de desarrollo, esta cifra aumenta a más de la mitad de su población (Minke, 2005, p.13); en los últimos años muchos expertos han centrado su esfuerzo en redescubrir sus bondades; entre las importantes y significativas tenemos su confort térmico, costo, durabilidad, etc.

### 1.1.1. Antecedentes históricos del tapial

El tapial es una técnica compleja al momento de precisar su origen, debido a que sus indicios en la historia se limitan a documentos de bienes históricos patrimoniales, en los cuales es complejo analizar su inicio vernáculo, tal cual la técnica ha llegado hasta nuestros días; sin embargo, después de un análisis y revisiones literarias podemos dar a conocer una idea a escala global, soportada en investigaciones

# capítulo 1 INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL

científicas y documentaciones importantes.

Existen cimientos a base de tierra apisonada descubiertos en la región de Asiria en el año 5000 a.C. cerca de esta región otro de los mejores ejemplos para esclarecer su permanencia en el tiempo es la muralla China (ver imágenes a4 y a5), que está ubicada en los límites del mismo país, actualmente es considerada patrimonio de la humanidad y fue idealizada con una tarea de ingeniería militar nunca antes construida, originalmente tiene la base de tierra apisonada y con el tiempo fueron recubriendo con piedras y ladrillos generando la apariencia de un muro de piedra (Minke, 2005, p.13).

Como algo fundamental debemos mencionar que la expansión de los imperios fue una forma efectiva de difundir la técnica constructiva, un ejemplo de su influencia era las torres de vigilancia implementadas en las nuevas tierras y los castillos que dejaban a su paso. En Asia

y África aparece la expansión fenicio-púnica que conquistó territorios y llegó hasta la parte Sur de Europa; con el tiempo surgieron rutas de comercialización, tal es el caso de la seda, que articuló el Medio Oriente, Asia central y Europa; dicho camino al mismo tiempo que crecía difundió el tapial; otro hecho importante que ayudó a la difusión del tapial fue la invasión musulmana y su ocupación en Europa; de esta manera llegó hasta España, durante su invasión pudieron propagar y practicar las costumbres constructivas intensamente, luego el imperio español quien fue uno de los primeros en conquistar más territorios en el mundo junto con los otros imperios europeos, fueron quienes llevaron el tapial hacia América y Australia en sus últimas conquistas (Jquin, Augarde, & Gerrard, 2008, p.378)

En el año 300 y 900 d.C. existe nuevos ejemplos de construcción en tapial, en la ciudad prehispánica de Teotihuacán en México

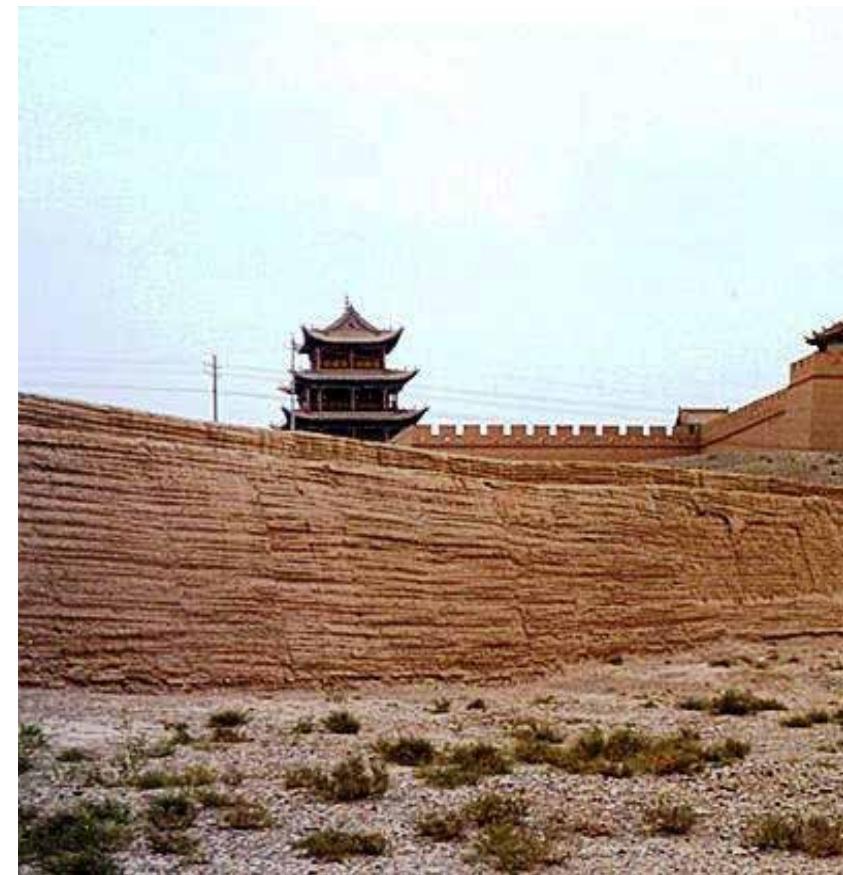


Imagen a4: La gran muralla china. Fuente: (UNESO, 2017) y (Elia-Anna, GALIOU-NA, Lars, HAMMER, Giorgio, 2014)



(ver imagen a6), en la cual el núcleo de la Pirámide del Sol posee aproximadamente 2 millones de toneladas de tapial (Minke, 2005, p.15); pero no es la única obra construida en la nueva era de la historia ni la única en América o África. A pesar de que en América del Sur la mayor destreza constructiva del Imperio Inca era las obras en piedra, se estima que en el Perú comenzaron a construir en tapial entre el año 800 y 1200 d.C., en el valle de Rimac donde está Cajamarquilla (Tejada, Schmidt; Mendoza, Alan; Dávila, 1990, p.8)

En la región del Tíbet y China existe una gran cantidad de edificaciones a base de tapial, como ejemplo de ello están los monasterios budistas, los cuales fueron construidos hace más de 500 años; esto evidencia que el tapial responde muy bien a regiones de extremo frío y movimientos tectónicos; donde la madera es un material escaso para la construcción (Moquin, 1994, p.546). El tapial no tiene un origen tan exacto

o detallado como el adobe a nivel mundial, pero es un arte constructivo innegable, esencialmente es una práctica que consiste en elaborar muros apisonados a base de tierra cruda dentro de moldes, constituyéndose en la técnica de construir en tierra cruda y la más expandida en la historia del planeta (Lauris Birznieks, 2013, p.6); a la vez tornándose en una destreza de origen ancestral, que actualmente siguen levantando en países como Dinamarca, Marruecos, Perú, China y Ecuador (P. Doat,



Imagen a5: La gran muralla china. Fuente:(UNESO, 2017) y (Elia-Anna, GALIOUNA. Lars, HAMMER. Giorgio, 2014)

# capítulo 1 INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL



Hays, A. Houben, H. Matuk, S. & Vitoux, 1995, p.12); definitivamente hay ejemplos de este tipo de construcción en tapial en todos los continentes. La técnica en mención es difundida en diversos idiomas, en los países donde hablan español, es conocida como: tapial, tapia o apisonado; mientras que en los países donde usan el portugués la denominan: taipa o “taipa de pilão”; en los países que hablan francés o italiano la conocen como pisé; en el árabe es denominada como “tabiyya”; en los países donde hablan alemán es conocida como “Stampflehm” y en lugares de habla inglesa como el Reino Unido, Australia, Norte América, entre otros es llamada “rammed earth”; en síntesis, el tapial es conocido en diversas regiones del mundo, por lo cual no podemos descartar la idea de que, en muchos otros idiomas y lugares existe la técnica de apisonar tierra húmeda con otro nombre.

Para resumir, el origen del tapial es más

complejo de lo que podamos describir; sin embargo, aparece expandida en el mundo por períodos y conquistas, cada una precipitada por una diferente gama de necesidades (Jaqin et al., 2008, p.396); para entender mejor su origen (ver tabla 1), donde fue posible desarrollar una línea de tiempo aproximada, en base a la documentación de obras monumentales preservadas y otras evidencias relacionadas con la técnica constructiva en mención.

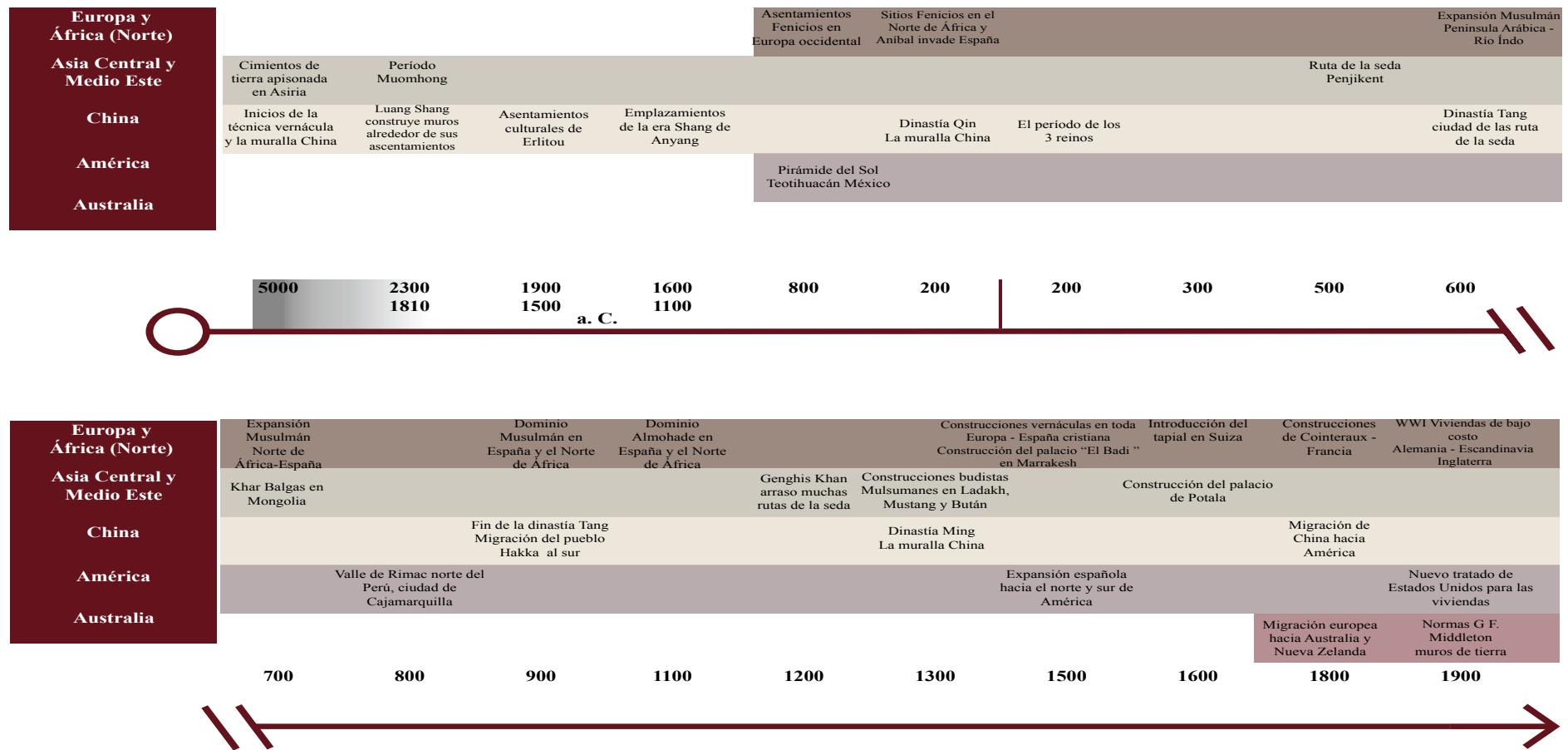
## 1.1.2. Obras habitadas monumentales de tapial

La siguiente parte de la investigación dedicaremos a recopilar obras representativas actuales, habitadas y conservadas en tapial; para conocer su valor y redescubrir su importancia. Las obras tienen varios siglos y están emplazadas en diferentes realidades que las hacen únicas.

Imagen a6: Ciudad prehispánica de Teotihuacán. Fuente: <http://whc.unesco.org/es/list/414>



Tabla 1. Línea del tiempo del Tapial



Fuente: (varias) (Jaqin et al. 2008, p.394);(Tejada, Schmidt; Mendoza, Alan; Dávila 1990); (Minke 2006b); (Easton, 2007). Elaboración propia.

# capítulo 1 INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL

En la república de China citaremos a una ciudad declarada patrimonio de la humanidad, Fujio Tulou (ver imágenes a7 y a8); el sitio comprende 46 casas de tierra construidas entre los siglos XII y XX, que funcionan como una especie de apartamentos para albergar a sus familias; según la UNESCO, son capaces de albergar hasta 50 grupos de familias y tienen alturas que oscilan entre 3 y 5 pisos; además utilizan el tapial reforzado con bambú, el cual fue construido a base de paredes circulares con espesores de hasta 1.20m en los edificios más grandes; estas edificaciones servían también como refugio durante las guerras; actualmente tienen favorables beneficios de confort. Acorde a las investigaciones, estas casas presentan resultados positivos en cuestiones: térmicas, acústicas y calidad de aire (Li, You, Chen, & Yang, 2013,p.286).

Otro ejemplo que podemos considerar, es la famosa casa Weilburg ubicada en Alemania,

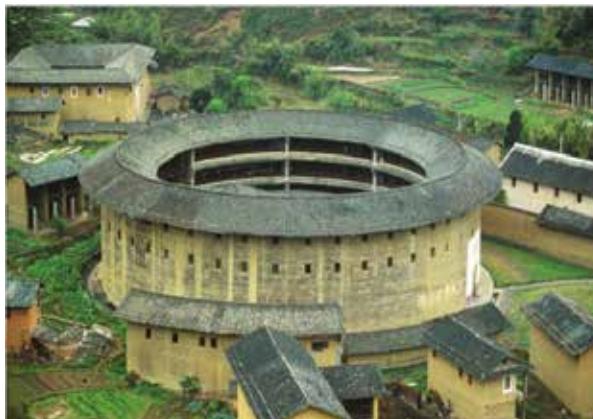
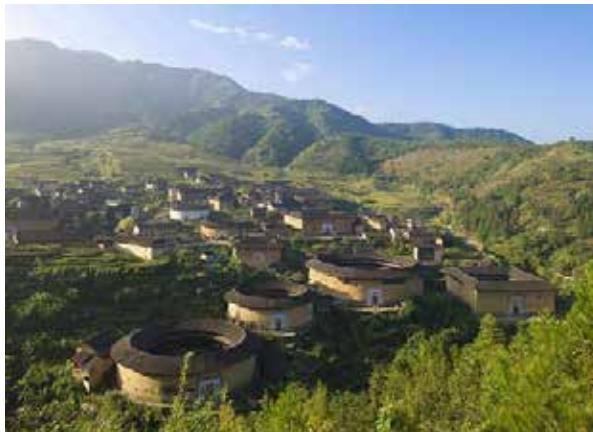


Imagen a7: Fujian Tulou. Fuente: [http://whc.unesco.org/?cid=31&l=en&id\\_site=1113&gallery=1&index=1&maxrows=12](http://whc.unesco.org/?cid=31&l=en&id_site=1113&gallery=1&index=1&maxrows=12)

Imagen a8: Fujio Tulou. Fuente: (Easton, 2007), p.4.

es la vivienda más alta de Europa con muros de barro macizo; esta construcción en tapial posee tabiques de 75 cm de espesor en la base y 40 cm en la parte superior, actualmente está habitada y tiene 7 pisos de altura (ver imagen a9); fue edificada en 1828, junto con miles de viviendas, cuando los recursos para la construcción eran escasos después de la guerra (Minke, 2005, p.15).

En Europa encontramos también las edificaciones de Alhambra y Generalife en el barrio Albaicín de Granada, ubicado en el sur de España (ver imagen a10); son asentamientos ubicados en dos colinas adyacentes, que forman el núcleo medieval de Granada y actualmente domina la ciudad moderna (UNESCO, 1984); básicamente es una fortaleza y residencia que fue ocupada en los siglos XIII y XIV en España; donde quedó impregnada la huella de la construcción musulmana en el palacio, murallas y viviendas al rededor.



Imagen a9: Stamflehmhäuser en Weilburg Alemania casa en tapial, Fuente: [whc.unesco.org/en/documents/138618](http://whc.unesco.org/en/documents/138618)

Imagen a10: Alhambra, Generalife and Albayzín, Granada (Spain). Fuente: [whc.unesco.org/en/documents/131246](http://whc.unesco.org/en/documents/131246)

Imagen a11: Ksar of Ait-Ben-Haddou (Marruecos). Fuente: <http://whc.unesco.org/en/documents/109845>

Imagen a12: El palacio de Potala o temple Lhassa – Tíbet. Fuente: <http://whc.unesco.org/en/documents/112628>

Cabe resaltar que en muchas obras adicionaron cal a la masa de la tierra (Font & Hidalgo, 2011, p.26); sin embargo, no es la única obra de tamaño colosal construida en tapial que actualmente sigue en pie, también en otros lugares tenemos algunos ejemplos, como es el caso de la ciudad de Ait-Ben-Haddou en Marruecos (ver imagen a11) al sur de África y el ícono de construcción en Nepal y el Tíbet; conocido como el palacio de Potala o templo de Lhassa (ver imagen a12), el cual está ubicado a 3700 m.s.n.m. construido desde el siglo VII y edificado principalmente en tapial y piedra. (UNESCO, 1987)

# capítulo 1 INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL

## 1.2. La vivienda vernácula

La construcción con tierra cruda, es una práctica ancestral que lleva mucho tiempo en la historia de la vivienda del ser humano, como también en obras de carácter religioso, social y político. La tierra natural, posee características invaluables en el campo de la construcción, pero son muy cortos los estudios realizados para conocer profundamente sus propiedades.

La vivienda vernácula a lo largo de la historia ha sido una muestra innegable de la cultura del lugar, donde los constructores y propietarios utilizaron los recursos al alcance de sus manos (ver imagen a13); en otras palabras, “es la forma y el proceso a través del cual un conjunto de materiales, básicamente tomados del entorno en el que se levanta una comunidad” para dar respuesta a las necesidades físicas y sociales de un grupo humano (Velecela, 2008, p.63).



Imagen a13: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (201). Detalle casa vernácula de piedra en Ecuador. [Fotografía]. Azuay, Ecuador.



Desde el siglo pasado varias organizaciones dedicadas a la conservación del patrimonio quisieron poner en evidencia esta actividad y establecieron convenios para protegerlo; finalmente, en el año 1999 ICOMOS, a través de la Carta del Patrimonio Vernáculo Construido, trata de normalizar el patrimonio con el fin de registrar la importancia de esta arquitectura, como expresión de identidad de una comunidad con sus valores tradicionales y su expresión natural en que han producido su habitad, formando parte integral del paisaje natural (Tillería González, 2006, p.13).

“La arquitectura autóctona, (que ha nacido o se ha originado en el mismo lugar donde se encuentra), popular (perteneciente o relativa al pueblo), tradicional (que sigue las ideas, normas o costumbres del pasado), son algunos de los conceptos más utilizados para referirnos a este tipo de arquitectura.” (Tillería González, 2006, p.12). De acuerdo

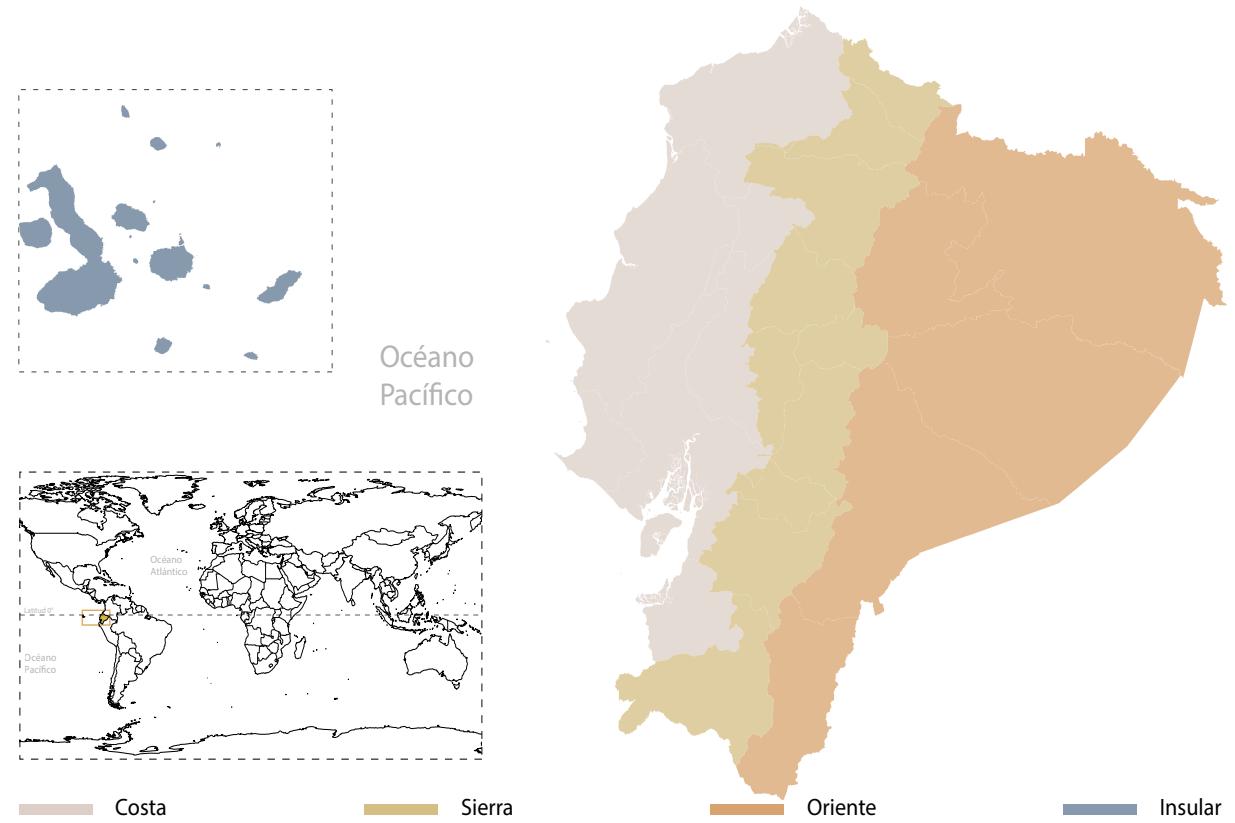


Fig. 1: Mapa político del Ecuador por regiones.  
Fuente: Propia

# capítulo 1 INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL

con (Scaletti, 2014, p.15), solo un 10% de la arquitectura que usamos en el mundo, es diseñada por arquitectos y el otro 90% es vernácula.

## 1.2.1. La vivienda vernácula en el Ecuador

El Ecuador es un país localizado en América Latina en la latitud 0°, donde recibe la luz solar de manera constante todo el año, sin tener estaciones climáticas; pero registra climas diversos en función de su altitud, presencias de corrientes marinas y la cercanía con la vegetación de la amazonia del continente. El país tiene 4 regiones definidas: Costa, Sierra, Oriente y la región insular o las Islas Galápagos (ver figura 1). Cada zona del país tiene su propia arquitectura vernácula, edificada principalmente con materiales como madera, piedra y tierra llegando a tener una expresión particular y propia de cada entorno.

### 1.2.1.1. Técnicas vernáculas en la zona templada y fría del Ecuador

Dentro de las regiones del Ecuador, la región sierra es también conocida como zona templada o fría (ver imagen a14), definida por sus propias características climáticas y geográficas, podemos decir que la región sierra es caracterizada por estar rodeada por las montañas de la cordillera de los Andes (ver imagen a15), razón por la cual la denominan zona andina; la región está compuesta de valles y zonas montañosas que alcanzan una altura hasta 6310 m.s.n.m., ésta presenta diferentes climas como: tropical andino, subtropical andino, templado, frío, y glacial comprendido entre los 1500 y 6310 m.s.n.m. aproximadamente (Yépez, 2012, p.9), de los cuales los más extremos y con grandes saltos térmicos son los climas templado y frío; por lo que la mejor forma de hacer viviendas es utilizar materiales aislantes propios de la región como: la piedra, madera y tierra.



Imagen a14: El Cañón en la provincia del Azuay-Ecuador. Fuente: <https://i.pinimg.com/originals/97/93/ad/9793ada66dabfd09ca910375df0c9233.jpg>

Imagen a15: Cordillera de los Andes en la zona de Ecuador. Fuente: <http://volcanoesofecuador.blogspot.com/2013/11/cordillera-de-los-andes-en-el-ecuador.html>



Imagen a16: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (201). muros de tapial para limitar los cultivos. [Fotografía]. Tunguragua, Ecuador.

El Ecuador en su región templada o fría posee cuatro técnicas vernáculas tales como: el adobe, bahareque o quincha, piedra y el tapial; no obstante, no solo son usadas para vivienda sino también como muros divisorios (ver imagen a16), además sin descartar la posibilidad de poder mezclar varias de estas técnicas en una sola edificación.

# capítulo 1 INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL

## 1.3. Técnicas vernáculas utilizadas en el Ecuador

### 1.3.1. Adobe

Las construcciones vernáculas en adobe (ver imagen a17) son edificadas a base ladrillos de tierra cruda; estos se refuerzan con fibras vegetales como paja, tamo de arroz o cebada, cabuya entre otros. Los adobes se unen mediante un mortero de barro. Las dimensiones de los ladrillos de tierra no deben ser excesivas; un adobe cuadrado no debe exceder de los 0.40 metros de largo, por otro lado, un adobe rectangular debe tener un largo igual a dos veces su ancho, mientras que su altura debe ser entre los 0.08 y 0.12 metros (E.080, 2017) todo esto, por razones físicas como el peso, es preferible trabajar con bloques de tierra de fácil maniobrabilidad para los constructores. El Ecuador tiene una normativa limitada respecto a la técnica, la norma describe algunos lineamientos en el capítulo 10, en la



Imagen a17: Casa de adobe Mariscal Lamar Airport: vivienda vernácula Austro del Ecuador. Fuente: (Enrique Rodas Photography, 2013)



sección “muros portantes”, la cual presenta algunas recomendaciones respecto a sismos; pero para un diseño de muro portante pide regirse a la norma E.080 (Diseño y construcción con tierra reforzada) del vecino país Perú.

### 1.3.2. Bahareque

También conocido como “quincha”, es una técnica que existe en América desde antes de la conquista de los españoles; pero con la llegada de los mismos, fue posible insertar mejoras y nuevos sistemas con el trabajo de la madera.

Básicamente es un sistema elaborado con madera o caña, recubierto de tierra con fibra (ver imagen a18), debido a su facilidad de construcción y utilización de los materiales del lugar, es una técnica muy usada (Pesantes, M.; Gonzalez, 2011, p.37); en consecuencia su utilización y aplicación en los últimos años, ha sido la más grande en la zona fría del Ecuador.



Imagen a18: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (201). Casa en San Martín de Puzhio [Fotografía]. Azuay, Ecuador.

# capítulo 1 INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL

## 1.3.3. Piedra

Las edificaciones con esta técnica son las menos estudiadas y registradas, sin embargo, podemos decir que son unos muros portantes de piedras cortadas y acomodadas con un mortero de barro puro o barro estabilizado con cal (ver imágenes a19 y a20).



Imagen 19: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Casa vernácula con muros de piedra [Fotografía]. Azuay, Ecuador.



Imagen a20: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Casa vernácula con muros de piedra[Fotografía]. Azuay, Ecuador.



### 1.3.4. Tapial

Básicamente consiste en apisonar tierra en unos moldes como cofres llamados tapialeras, formando muros portantes de diversos anchos, actualmente esta técnica de construcción en nuestro país es raramente usada, pero hay personas que heredaron el conocimiento y lo siguen practicando como el caso de la casa de la Macana (ver imagen a21).

Dentro del código de construcción ecuatoriana existe limitada información sobre la técnica en mención, no obstante, sugiere que revisemos a la norma peruana E.080 (Diseño y construcción con tierra reforzada).



Imagen a21: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Casa en San Martín de Puzhio [Fotografía]. Azuay, Ecuador.

#### 1.4. Construcción con tapial en el Ecuador

Las comunidades andinas de la región organizaban una reunión de trabajo comunitario llamada “minga del tapial”, con la finalidad de construir el hogar para una nueva familia, integrante de la comunidad. Cuando un hogar joven deseaba tener su casa propia, convocaban a sus parientes vecinos y amigos para juntos elaborar la vivienda, todos vivían en una armonía con un actuar solidario de ayuda; si alguien ayudaba a construir una casa, esta persona tenía el derecho de ser ayudado cuando decidía construir su vivienda.

Este derecho era parte del código de convivencia que llevaba la comunidad, unas normas dadas por la tradición, el parentesco, la costumbre, las relaciones sociales y la necesidad (Ramirez, 1980, p.98). El compromiso social consistía en ir tres o cuatro días a participar de la

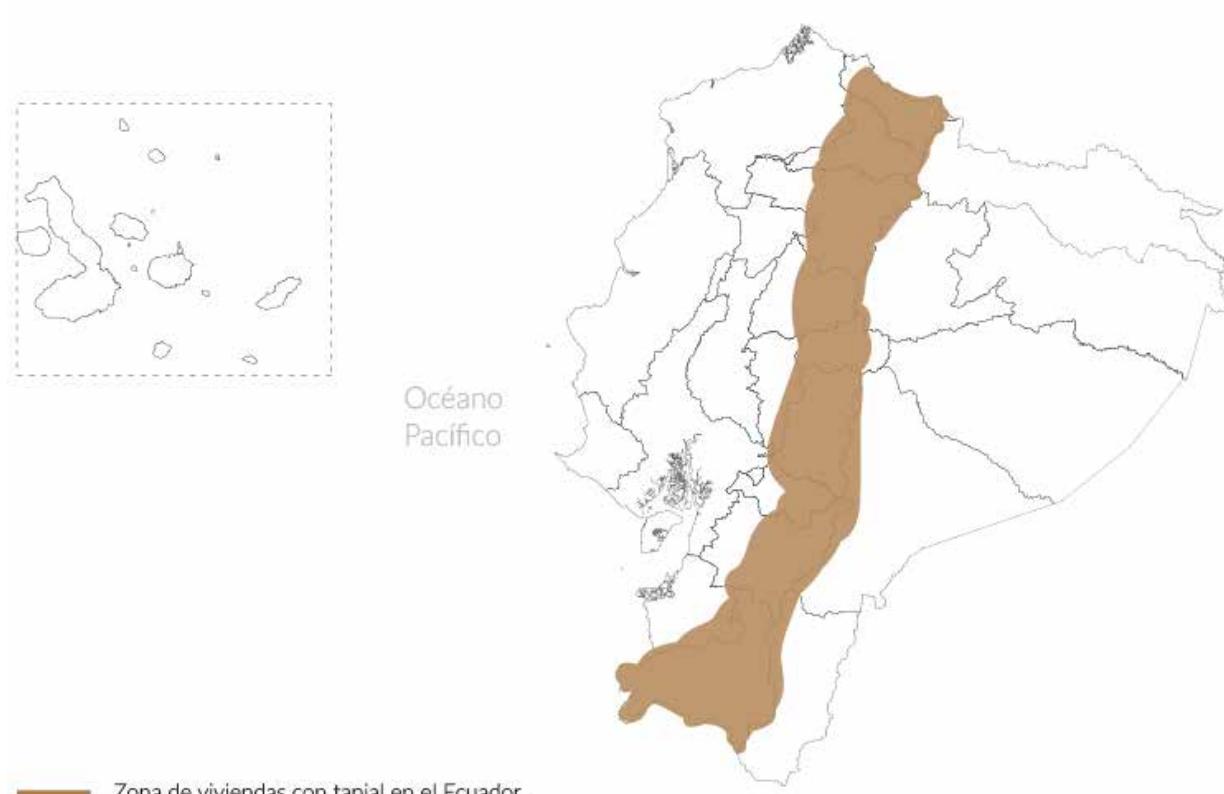


Fig. 2: Zonas de viviendas con tapial en el Ecuador.  
Fuente: Propia



construcción, si alguien no podía trabajar por cuestiones de su salud, ellos podían acompañar en el trabajo con su presencia, enviaban comida o alguna bebida alcohólica. Era un deber casi sagrado. Los hombres trabajan en la construcción y las mujeres ayudan en la cocina en la elaboración de la comida que es donada por los futuros dueños (Ramirez, 1980, p.98).

La construcción dura alrededor de 20 días (Ramirez, 1980, p.100), empiezan con el trazado del inmueble, luego cavan para los cimientos, (tierra que amontonan para posteriormente verterla en las paredes). Luego construyen las tapiadoras con tablones: de 1.40 metros de alto y 2 metros de largo apuntalados con vigas de madera, finalmente colocan la tierra húmeda en mitad de los tablones, mientras unos cargan la tierra otros se apresuran a apisonarla con sus pies y con pisones. El proceso se repite uno y otra vez hasta levantar los muros completamente.

La medida de las tapiadoras varía al igual que el espesor no obstante, podemos aclarar que tradicionalmente utilizan tablones de 1.50 a 2 metros de largo por 0,40 a 0,60 metros de ancho y 0.60 a 1.40 metros de alto en el Ecuador.

Las construcciones en tapial, han sido documentadas en la zona andina del país, zona caracterizada por su clima templado y frío; acorde con varias investigaciones realizadas en el país sobre el tapial, logramos concluir que casi toda la región “Sierra” del país registra construcciones con tapial (ver Fig 2), tal es el caso de: Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Latacunga, Tungurahua, Guaranda, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja (CIDAP, 2005, p.406)

### **1.5. El tapial en el austro ecuatoriano**

Por muchos años el tapial en el Ecuador fue practicado en las regiones del austro del país,

prueba de ello son las múltiples construcciones en pie tanto en centro urbanos como en zonas rurales, lamentablemente no existe un registro oficial de todos estos bienes ni un levantamiento apropiado hoy día.

La técnica es registrada en el Austro del Ecuador en lugares como Gualaceo, Paute, Cañar, Chorocopte (Pesantes, M.; Gonzalez, 2011) además en algunas zonas rurales aledañas sin embargo, esta técnica ha estado en desuso por varias razones como: el esfuerzo físico, la migración, un deslave catastrófico como fue el desastre de la Josefina y conjuntamente el cambio de la sociedad. Se conoce que la técnica fue desarrollada en mayor parte por los dueños de las haciendas de las cuales quedan contadas en la región.

# capítulo 1 INTRODUCCIÓN A LA TÉCNICA CONSTRUCTIVA DEL TAPIAL

## 1.6. Obras representativas construidas en tapial en el Ecuador

En el sur de nuestro país conocido como Austro, comprende las provincias Loja, Azuay y Cañar en la zona andina, están varias obras en tapial, dentro de este sector las ciudades como Paute y Gualaceo conservan en sus centros urbanos y rurales ejemplos de la técnica en mención (Pesantes, M.; Gonzalez, 2011, p.49), tal es el caso del hospital del Gualaceo y muchas obras que a simple vista pueden ser observadas alrededor de los valles de las ciudades arriba anotadas.

### 1.6.1. Antiguo Hospital de Guacaleo Miguel Moreno Vásquez

#### 1.6.1.1. Antecedentes Históricos

El antiguo Hospital Miguel Moreno Vásquez, se encuentra ubicado al lado sudeste de Gualaceo, cantón del mismo nombre, provincia del Azuay.



Imagen a22: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Casa vernácula con muros de piedra[Fotografía]. Azuay, Ecuador.



Imagen a23: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Vista interior del Hospital. [Foto-grafía]. Azuay, Ecuador.

Imagen a24: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Textura tapial en hospital. [Foto-grafía]. Azuay, Ecuador.

### 1.6.1.2. Descripción arquitectónica

El Antiguo Hospital tiene un área de construcción de 2968.04 m<sup>2</sup>, (Incluye espacios hoy en escombros), el área de patios y garaje es de 1613.04 m<sup>2</sup>, dando un total de área ocupada de 4581.44 m<sup>2</sup>.

Está estructurado en cuatro patios circundado por portales. Como eje central se encuentra la iglesia, cuyo presbiterio es de planta octogonal con un arco ojival que separa de la nave central, éste presenta pintura mural para enmarcar y dar realce el presbiterio. Esta nave da acceso, a través de su atrio, al exterior de la edificación. La iglesia está conformada de una sola nave con ventanas de arcos de medio punto, posee un coro al que se accede por una reducida grada de madera (ver fig 3 y 4).

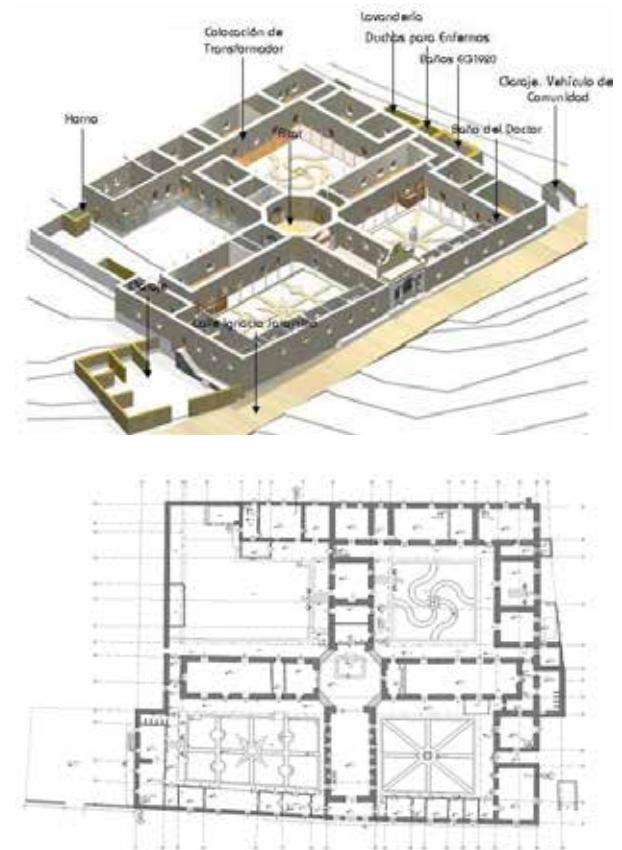


Fig. 3 y 4: Esquema de emplazamiento Hospital Miguel Moreno Vásquez.  
Fuente: Espinoza, R., Mejía, S., Morocho, V. (2005). Proyecto de rehabilitación y readecuación del antiguo hospital Miguel Moreno Vásquez. Ecuador, 28.

# conclusiones

## cap 1

Es complejo definir el origen de la técnica del tapial en el Ecuador, pero la mayor parte de las edificaciones con tapial aparecen en lugares donde existía un limitado acceso a madera; zonas que poseen climas con cambios bruscos de temperatura especialmente en regiones con climas fríos o templados.

La evolución social, la extinción de las haciendas y la falta de propagación de la técnica del tapial fueron factores que contribuyeron a la pérdida de su acogida en la población andina para construir sus edificaciones.

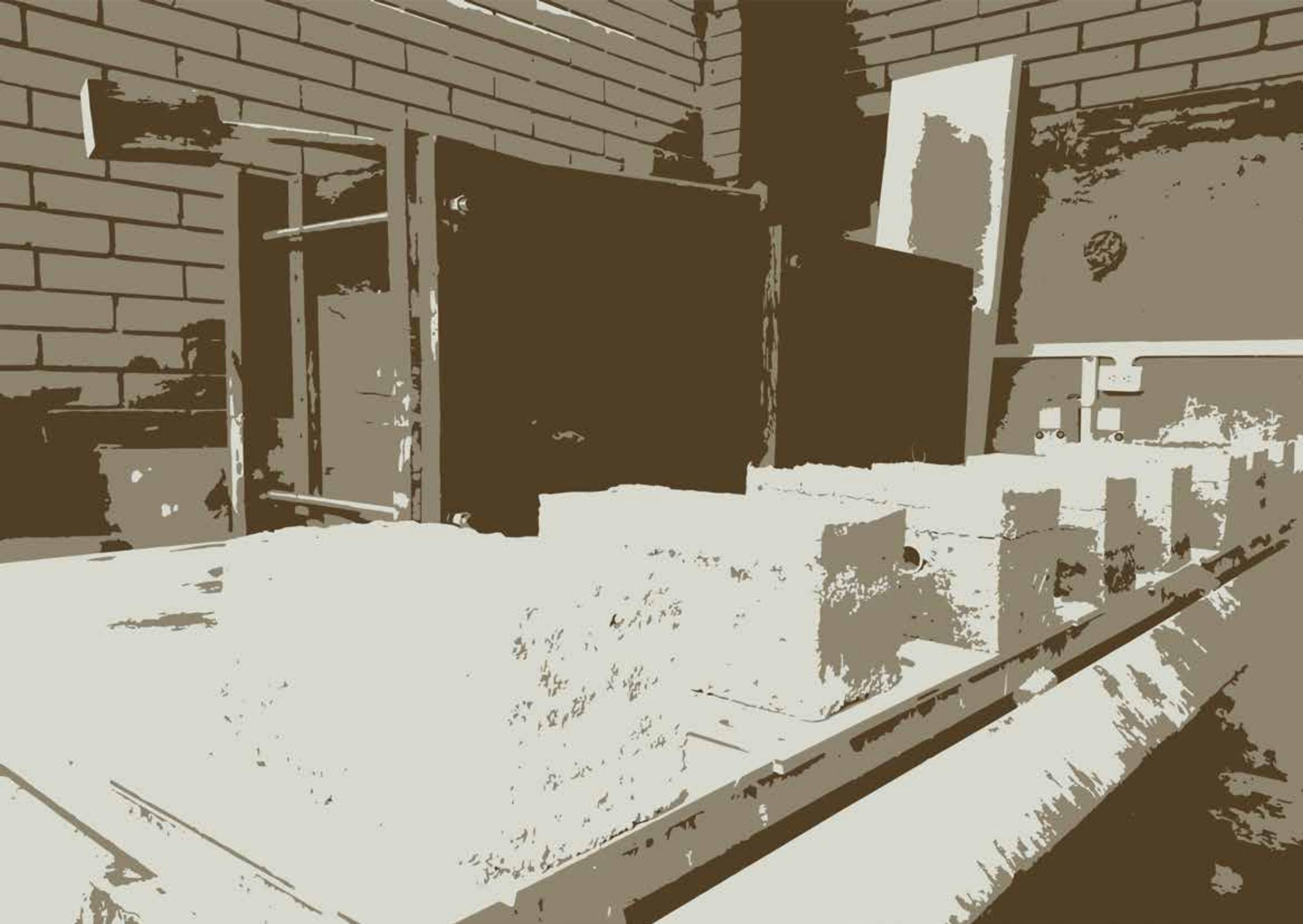
Una vez revisado la documentación vernácula sobre la técnica del tapial en nuestro país, se afirma que es deficiente. En consecuencia, existe escasa valoración de la misma, lo cual contribuye a la extinción de las técnicas ancestrales en construcción con tierra y el patrimonio del Ecuador.

El tapial en el Ecuador es una técnica de origen vernáculo, practicada en la región andina del país, en los últimos años fue perdiendo acogida por la población debido a distintas razones: evolución social, extinción de las haciendas, y la falta de difusión de la experticia con tapial.



# CAPÍTULO 2

ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL



## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### Aspectos y cualidades físicas del tapial

La forma de hacer tapial ha experimentado una serie de modificaciones, en base a nueva tecnología y maquinarias; en este documento trataremos de enfocar la esencia como técnica de construcción y algunas de las modernizaciones de la misma, también abordaremos temas importantes desde tres puntos de vista: la normativa existente, las técnicas ancestrales y los ensayos de laboratorio.

Básicamente al hablar de tapial, nos referimos a tierra húmeda, compactada por capas en medio de dos cofres o moldes que son removibles (ver imagen b1), la tierra es compactada mediante un pisón que pesa entre 5 - 10 kg constituido a base de diferentes materiales como: madera o metal, no obstante la compactación puede ser automatizada también con pisones hidráulicos o mediante vibro compactadores de tamaños reducidos (Maniatidis & Walker, 2003, p.55).

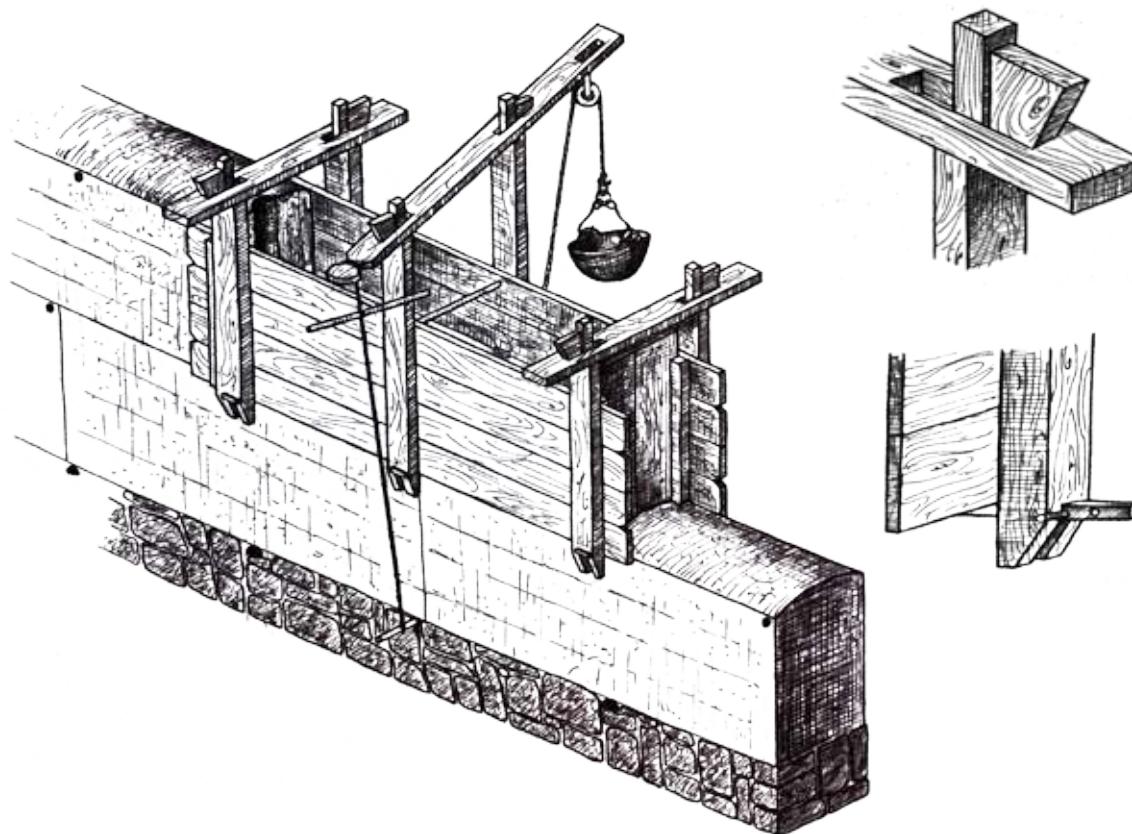


Imagen b1: Tapial tradicional de la comarca de Els Ports, Castellón. Fuente: Fermín FONT MEZQUITA y Pere HIDALGO, 2009, Arquitecturas de Tapia, Ed. Col·legi d'arquitectes de Catalunya. (definiciones de tapia, tapial, tapiada, tapiador pp. 47-56)



## 2.1. Normativa del tapial

A nivel mundial, existe un gran número de organizaciones y expertos que pretenden normar el complejo uso de los muros de tierra apisonada o tapial. En la investigación tratamos de resumir los documentos más importantes de varios países; cabe recalcar que dichos enunciados abarcan únicamente al tapial, con el fin de no generar confusión con otras técnicas relacionadas a la construcción con tierra.

El Ecuador posee una normativa limitada para la construcción con tapial, podemos decir con certeza que los únicos documentos encontrados están referidos en el capítulo 10 en la sección 9.7.2 de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción). La técnica es mencionada dentro del apartado como “Muros portantes de tierra” con el título “Muro portante de tapial” donde, se define

el concepto de la técnica, sus materiales y recomendaciones para reforzar dichos muros.

Finalmente encontramos que, para el proceso de diseño, la norma sugiere usar el “Código de Construcción con Tapial del Perú; Norma E.080” (NEC, 2011), aclarando que ésta carece de especificaciones profundas al momento de realizar los ensayos de laboratorio.

La norma peruana E.080, publicó su última actualización en abril del año 2017, la cual expone varias recomendaciones para realizar las edificaciones en tapial, por ejemplo: número de muestras mínimas, resistencia a la compresión mínima y otros detalles que resumiremos más adelante junto con los códigos de construcción de varios países más; no obstante la norma E.080, no especifica factores como granulometrías, proceso en la elaboración de muestras, ensayos de resistencia a la compresión, entre otros; por lo

que consideramos fundamental, profundizar en los códigos vigentes de: Europa, África, Australia, América del Norte y Sudamérica, junto con las recomendaciones aprobadas por varios expertos en el tema.

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### **Historia de la Normativa del tapial**

Han pasado casi 70 años, desde que fue oficial el primer documento que estableció los primeros lineamientos para construir con tapial; con el pasar del tiempo fueron generando actualizaciones con sus respectivas mejoras. Es importante mencionar que cada código descrito en la investigación contiene información similar y otras contradictorias, no obstante nuestro punto es conocer los detalles significativos al momento de usar la tierra natural para elaborar muros.

Los primeros documentos para establecer procedimientos de tierra apisonada aparecieron en Australia, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Reino Unido e India, alrededor de los años 1940 y 1950 (Ciancio & Jaquin, 2011, p.1), las razones de su creación son diversas: valores culturales, económicos y medioambientales; lo cual dio inicio a múltiples investigaciones

hasta nuestros días. Estas investigaciones fueron plasmadas en códigos pioneros de países tales como: Estados Unidos, 1991, España, 1996; Nueva Zelanda, 1998; Alemania, 2000; Australia, 2002; Zimbabwe, 2001; (Maniatidis & Walker, 2003, p.1-5) y últimamente Perú, 2017.

### **Tipos de fuentes investigadas**

Los documentos sobre la construcción en tapial con mayor importancia en el mundo han sido publicados en países como: Australia, Alemania, Nueva Zelanda, España, Estados Unidos, Zimbabwe, Reino Unido, Francia, Brasil, Perú entre otros (ver tabla 2).

Los documentos están clasificados según: (Delgado y Guerrero, 2007), (Silva, Oliveira, Miranda, Escobar, & Cristelo, 2012) y las normas ISO, mismas que fueron plasmadas en 3 grandes grupos, con la finalidad de

entender mejor; el primer grupo corresponde a las regularizaciones y estándares nacionales, el segundo a otros documentos normativos como reglamentos e instructivos y finalmente el grupo número tres, que pertenece a los aspectos técnicos publicados en bibliografías generales sobre la construcción en tierra.

La mayoría de los documentos consideran varios aspectos de la técnica, tales como: medidas mínimas, pruebas de laboratorio, resistencias mínimas a la compresión, humedad optima y otras que detallaremos en las siguientes tablas con su respectivo análisis.

**Tabla 2.** Lista de documentos más importantes sobre el tapial

Año	Grupo	País	Siglas o Autor/es
1998	Regularizaciones y estándares (1)	Nueva Zelanda	NZS 4298
2001		Zimbabue	SAZS 724
2004		Estados Unidos	NMAC, 14.7.4
2017		Perú	E 0.80
1970	Normativa (2)	España	PIET 70
1971		España	IETCC
1996		España	MOPT
2000		Alemania	Lehmbau Regeln
2002		Australia	Walker and standards Australia
1948	Documentos técnicos (3)	Nueva Zelanda	Alley
1953		Australia	Gomes and Folque
1994		Francia	Houben and Guilland
1970		Estados Unidos	OIA
1979		Francia	Doat et al (Craterre)
1981		Australia	Shrader
1984		Estados Unidos	McHenry
1996		Reino Unido	Keable
1996		Australia	Radonovic
1997		Reino Unido	Norton
2005		Reino Unido	Keefe
2005		Reino Unido	Walker
2009		Latino America	Red proterra

Fuente: (varios); Silva, R. a., Oliveira, D. V., Miranda, T., Escobar, C., & Cristelo, N. (2012); Jiménez Delgado, M. C., & Guerrero, I. C. (2007). Elaboración propia.

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### 2.1.1. Suelo apropiado

Una de las primeras claves para lograr levantar los muros, es seleccionar el suelo con las propiedades adecuadas (ver imagen b2); el suelo debe tener en su composición alto contenido de arena y baja proporción de arcilla. Este tipo de selección debe ser elaborado mediante varios ensayos, de manera especial debemos aplicar las pruebas ancestrales y de laboratorio, mismas que serán descritos en la parte pertinente de nuestra investigación (ver tabla 10).

Las proporciones de los componentes del suelo básicamente pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: grava, arena, limo y arcilla, dichos grupos son determinados por la distribución del tamaño de las partículas del suelo. Varios expertos han publicando documentos relevantes sobre el tema, para conocer mas detalles (ver tabla 3).



Imagen b2: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Tierra extraída ya en laboratorio para su posterior análisis. [Fotografía]. Azuay, Ecuador.

**Tabla 3.** Proporciones del suelo recomendados para elaborar tapial

Año	País	Autor/es	Grava	Arena	Limos	Arcila
1948	Nueva Zelanda	Alley	-	10-20	50-80	25-30
1953	Australia	Gomes and Folque	0-33	28-51	7-17	15-31
1970	España	PIET 70		10-40	20-40	10-40
1971	España	b IETCC	10-20	10-40	20-40	10-40
1979	Francia	Doat et al (Craterre)	0-15	40-50	20-35	15-25
1981	Australia	Shrader	-	70-80	0	20-30
1984	Estados Unidos	c McHenry	-	65-70	-	30-35
1992	España	a MOPT				5-26
1994	Francia	a Houben and Guilland	49-60*		14-25	8-10
1996	Reino Unido	Keable	50-70*		15-30	5-15
1996	Australia	Radonovic	-	65-70	0	30-35
1996	Estados Unidos	d Smith and Austin		60-80	40	4-15
1997	Reino Unido	Norton	-	45-75	15-30	10-25
1998	Nueva Zelanda	NZS 4298	< Acilla que el adobe			
2001	Zimbabue	SAZS 724	50-70*		15-30	5-15
2002	Australia	Walker and standards Australia	45-75*		10-30	<20
2005	Reino Unido	Keefe	30	45	10-18	7-15
2005	Reino Unido	Walker	45-80*		10-30	5-20
2009	Latino América	Red proterra	-	65-80	0-40	20-35

\* valores unidos entre tipos de componentes.

a Considerando arcilla las partículas menores a <0.002 mm.

b arcilla <0.002; limos 0.002–0.5 mm; arena 0.5–5 mm; grava fina 5-20 mm.

c AASHO standard, arcilla <0.005; limos 0.005–0.075 mm; arena fina 0.075–0.425 mm; arena gruesa 0.425–2.0 mm; grava 2.0 mm.

d arcilla <0.002; limos 0.002–0.625 mm; arena 0.625–2 mm.”

Fuente: (varios); Gomes, M. I., Gonçalves, T. D., & Faria, P. (2014); Jiménez Delgado, M. C., & Guerrero, I. C. (2007); Maniatidis, V., & Walker, P. (2003). Elaboración propia.

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### 2.1.2. Tamaño máximo de la partícula de suelo

Al trabajar con tierra es muy importante conocer el tamaño de las partículas del suelo, previo a la realización de los ensayos o pruebas. El tamaño máximo de las partículas, según algunos expertos, son recomendaciones para evitar terrones y mantener una granulometría controlada, lo cual ayuda a evitar pérdida de resistencia y deficientes acabados superficiales (Gomes, Gonçalves, & Faria, 2014, p.192). Para verificar lo enunciado, existen varios documentos que contribuyen a normar este factor, estableciendo valores máximos y mínimos. (ver tabla 4)

### 2.1.3. Tapiadoras

Otro factor al momento de construir con tapial es elaborar los moldes conocidos como tapiadoras, que son los módulos en los cuales

**Tabla 4.** Máximo tamaño de la partícula (mm)

Año	País	Autor	Tamaño
1953	Australia	Gomes and Folque	20-25 *
1971	España	IETCC	20
2005	Reino Unido	Keefe	20
2004	Estados Unidos	NMAC, 14.7.4	38.1
2005	Reino Unido	Walker	10-20^

“Podría contener partículas > 50 mm en un porcentaje no mayor a 20-25%

^ limitado a esa medida pero puede usar exitosamente partículas > 50-100 mm”

la tierra es vertida y son elaborados a base de varios materiales como madera o metal, utilizando varios sistemas con trabas o encofrados de múltiples tamaños que ayudan a mantener el relleno de la tierra dentro de los muros (ver imagen b3).

Este tipo de encofrados son reutilizables y recomiendan hacer de materiales ligeros y resistentes. Dentro de las normas mundiales

existe el código elaborado por Zimbabue, el cual sugiere varias directrices para elaborar las tapiadoras (ZASC, 2001). Este código recomienda aplicar refuerzos y medidas apropiadas para construir cada cofre, como también la máxima deformación (3mm) aceptada luego de cargar un peso de 150 kg en el tablero.

A nivel de Latinoamérica según (Habiterra &



Cyted, 2003), existen varios tipos de encofrado, de los cuales es posible escoger en función del material disponible, tipo de acabado, apoyo de máquinas y andamios. Red Habiterra presenta un cuadro resumen de las técnicas y tamaños usados en varios países de la región, aclarando que las tapialeras poseen dimensiones que varían entre 50 y 120 cm de altura versus 120 y 180 cm de largo (p.14-19).

- 1 Compuerta
- 2 Codal, travesaño o separador
- 3 Travesaño
- 4 Paral
- 5 Cuña o egión
- 6 Aguja o agujetero
- 7 Cortado
- 8 traviesa
- 9 Tortolo
- 10 Relleno de tierra que se apisona en el tapial

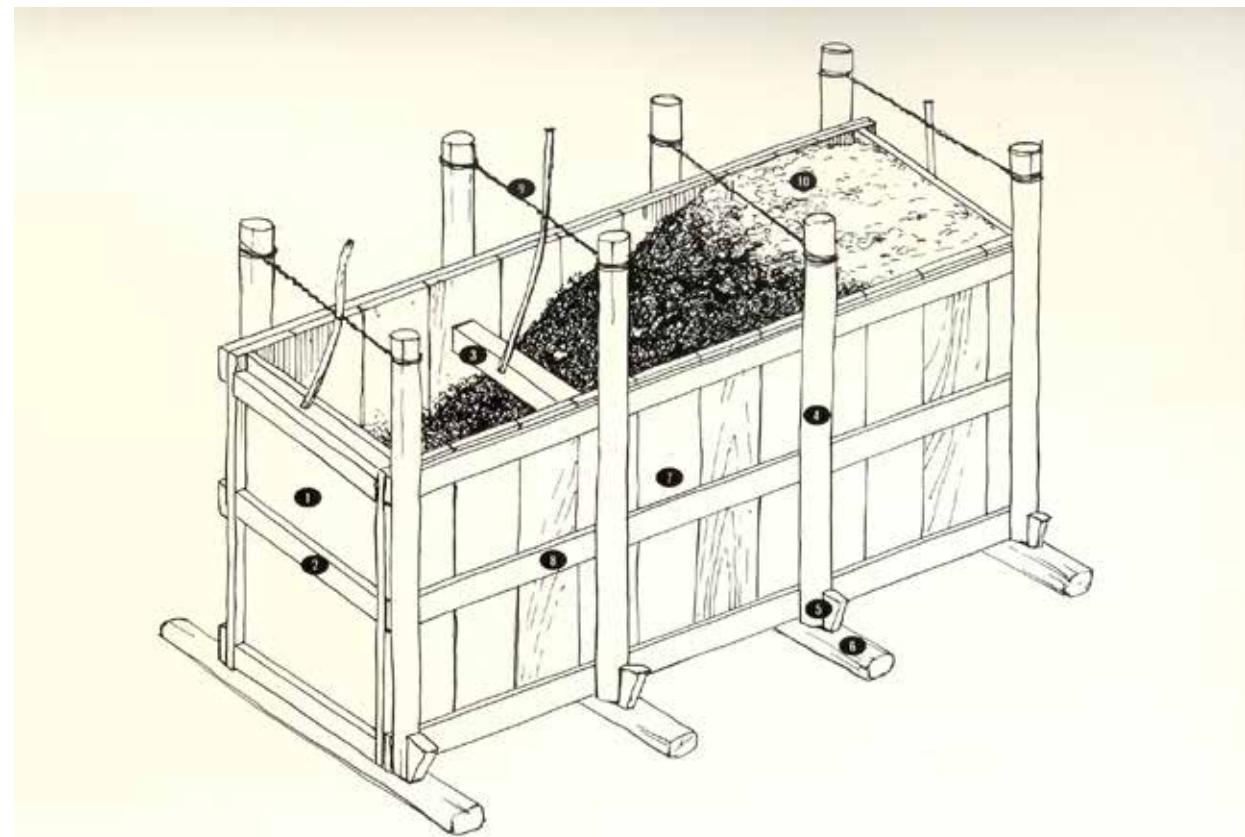


Imagen b3: Terminología de los elementos que comprenden el tapial. Fuente: <http://www.farfanestella.es/bioclimatica/?tag=tapial>

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

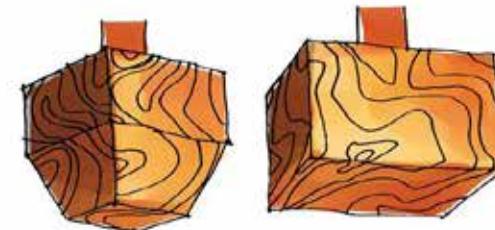
### 2.1.4. El Pisón

El pisón es la herramienta que se utiliza para compactar la tierra suelta, también es conocido como apisonador o mazo. Estos elementos se los puede encontrar de varias medidas y propiedades; hoy en día podemos dividirlo en 2 tipos: el pison tradicional (ver imágenes b4 y b5) que consiste en una pieza generalmente de madera. Los pisones de madera pesan entre 5 a 8 kg.

El segundo tipo son los pisones automatizados (ver imágenes b6 y b7); estos pueden ser pisones neumáticos, que funcionan por medio de un compresor de aire, los compactadores vibratorios de placas como el que fue usado para la Capilla de la Reconciliación en Berlín (Maniatidis & Walker, 2003, p.55-57). A continuacion resumiremos las características de los pisones (ver tabla 5).



Imagen b4: Pisones manuales con cabezas diferentes. Fuente: <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=universian&logNo=30136268300>



Pisón tradicional de madera



Pisón con cabeza metálica



Imagen b5: Tipos de pisones manuales. Fuente: <http://www.varunthautam.com/wp-content/uploads/2015/05/10152780308842477.jpg>

Imagen b6: Pisones neumáticos. Fuente: <http://blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=universian&logNo=30136268300>

Imagen b7: Compactación con pison neumático. Fuente: <https://i.pinimg.com/736x/6a/f4/e6/6af4eb0e004ec6405f1f52c2ee9b8b8.jpg>

capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

**Tabla 5.** Características del pisón

Año	Grupo	País	Siglas o Autor/es	Peso (Kg)	Forma de la cabeza	Material de la cabeza del pisón	“Área de la cabeza (cm <sup>2</sup> )”	“Largo del mango (m)”
1994	3	Francia	Houben and Guiland	5-7	Varias	madera/metal	64>225	1.3-1.4
1996	3	Reino Unido	Keable	5-10	circular	madera/metal	50-110	1.5-1.8
1953	3	Australia	Gomes and Folque	6.3-8.2	conical	madera con una placa metálica al fondo	25-39	1.5
1997	3	Reino Unido	Norton	7-10	prismática	madera/metal	80-100	1.5-1.8
2017	1	Perú	E 0.80	≈10	varias	madera	n/s	n/s

n/s no sugiere, ≈ aproximado.

Fuente: (varios); Maniatidis, V., & Walker, P. (2003); E.080, N. Norma E.080 diseño y construcción con tierra reforzada. Elaboración propia. (2017).



### 2.1.5. Contenido de humedad

El contenido de humedad es otro factor trascendental en la elaboración de los muros de tierra apisonada y la mayor parte de las normas existentes hacen referencia a este detalle (ver imágenes b8 y b9)

El máximo contenido de humedad depende del tipo de suelo y la cantidad de energía usada para compactarlo. Internacionalmente es reconocido por sus siglas en inglés OMC (Optimum Mixture Content), que es un diagrama entre el porcentaje de humedad del suelo y la densidad seca, misma que se encuentra descrita en el ensayo de Proctor.

Para determinar el OMC, tanto la norma alemana como la neozelandesa, piden remitirse a un ensayo similar al internacionalmente aceptado “Proctor”, aplicando la DIN 18127 (Schroeder, 2011,p.108) y la NZS 4422 respectivamente.

En la práctica, este valor debe estar dentro del rango del 3% del óptimo contenido de humedad (NZS 4298, 1998, p.33); sin embargo, otras normas no sugieren determinar a través de un ensayo de Proctor o parecido al Proctor; pero recomiendan alcanzar el máximo contenido de humedad (OMC) como la normativa de Zimbabwe; finalmente Perú sugiere elaborar el tapial con humedades entre el 10 y el 15% de la muestra seca (E.080, 2017, p.15).

Es importante mencionar que en Perú, Zimbabwe y Nueva Zelanda aceptan como norma la técnica ancestral “la caída de la bola”, para determinar el máximo contenido de humedad. Esta técnica, será detallada en la siguiente sección de la investigación.



Imagen b8: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Colocación de agua en el suelo para la fabricación de tapiales. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b9: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Colocación de agua en el suelo para la fabricación de tapiales. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### 2.1.6. Estabilizadores

Según (Maniatidis & Walker, 2003), existen dos grupos de estabilizadores: en el primer grupo están todos aquellos que permiten aumentar la resistencia a la compresión y en el segundo grupo; están los que pretenden mejorar sus propiedades de resistencia a los factores externos como la humedad, contaminación ambiental, lluvias ácidas, etc (p.20).

#### Aumentar su resistencia a la compresión

Uno de los mejores estabilizadores y mundialmente conocido para lograr este objetivo, es el cemento Portland, inclusive es un material considerado indispensable en varios códigos de construcción (normativa brasileña). De los documentos revisados y según Maniatidis & Walker, en Australia y Estados Unidos el uso de cemento es natural independiente de sus aplicaciones.

#### Resistencia a la humedad

La resistencia a la humedad es un tema de mucho cuidado cuando se trata de construir con tierra en general, por lo que hay algunas estrategias como el caso de estudio (Maldonado, L. Castilla, F. Vela, 1997), donde intentan solventar esta desventaja adicionando algunos productos que generan diferentes mejoras; en el estudio antes mencionado, se utilizaron materiales como: cal, azufre, linaza, yeso, cera, detergente, aceite de oliva y agua de cal, además experimentaron con algunos aditivos como: Sika 1, Sikalite, Sikacem, Sikalatex y otros materiales, incluso mezclados entre ellos en distintas proporciones, en base al volumen de agua de la mezcla, al final los resultados son variados, es decir que si algunos materiales mejoran su resistencia al agua en otras ocasiones disminuyen su resistencia a la compresión. (p.28)

Los investigadores sugieren que aparte de la adición de cemento, es posible estabilizar la tierra con: cal, betún, fibra natural y soluciones químicas como los silicatos (Maniatidis & Walker, 2003); existen nuevas investigaciones que proponen la adición de cal y cemento como una de las mejores soluciones para elevar su resistencia a la compresión y disminuir las afecciones causadas por el agua o agentes externos (p.20).

En el siguiente resumen (ver tabla 6), trataremos de mostrar los detalles sugeridos por diferentes normativas al momento de elaborar las muestras; el cuadro contiene dimensiones de las muestras, días de secado, resistencias mínimas a la compresión y el número de muestras.

**Tabla 6.** Detalles para ensayos de resistencia a la compresión en laboratorio

Año	País	Nombre	“Fuerza a la compresión (N/mm <sup>2</sup> )”	Días de secado	Detalles de la muestra (mm)					# Muestras	Observaciones
					Cilindro		Polígono				
D	h	l	a	h							
1992	Australia	G. F. Midletown	0.7		150	110	150	1.3 x h	150	5	
2002	Australia	Standards Australia	“0.4-0.6”		150	300	n/a	n/a	n/a	1/25-100 m <sup>2</sup>	
2004	Estados Unidos	2015 NEW MEXICO EARTHEN BUILDING MATERIALS CODE	“21.06 300 psi”	>7	n/a	n/a	102 (4”)	102 (4”)	102 (4”)	n/s	Estabilizado con cemento
2010	Estados Unidos	“Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems <sup>1</sup> ”	0.5	28							Sugiere el uso de las normas de Nueva Zelanda
1998	Nueva Zelanda	NZS 4298	0.50	28	n/a	n/a	n/s	2 x h	n/s	5	
2017	Perú	E.080	1	28	n/a	n/a	100	100	150	4*	Diseño y construcción con tierra reforzada
2001	Zimbabwe	SADCSTAN - ARSO	“1.5-2.0 <sup>2</sup> ”								para 1 piso y 2 respectivamente
1992	España	MOPT	“0.6-1.8”		n/a	n/a	50	50	50	n/s	
2000	Alemania	Lehmbau Regeln	4		n/a	n/a	200	200	200	3	

<sup>1</sup>Diámetro del cilindro, h: altura, l: largo, a: ancho. n/a: no disponible, n/s: bases insuficientes. \* mejores muestras de un total de 6.  
<sup>2</sup>para muretes"

Fuente: (varios); Maniatidis, V., & Walker, P. (2003); E.080, N. Norma E.080 diseño y construcción con tierra reforzada (2017); Jiménez Delgado, M. C., & Guerrero, I. C. Elaboración propia. (2007).

# pruebas o ensayos ancestrales

Con el fin de analizar las características de la tierra se realizaran ensayos en campo y en laboratorio. Los ensayos de campo tienen una desventaja, la cual radica en la medición de los resultados y la exactitud de los mismos. Pero cabe recalcar que son ensayos que nos permiten saber de una forma rápida las características del material con el que se va a trabajar ya en campo. Según (Minke, 2001) los ensayos de campo son lo suficientemente exactos como para estimar la composición de la tierra y si la mezcla es aceptable para una aplicación específica.

Se realizara análisis de la tierra del cantón Paute en la provincia del Azuay, ya que según arquitectos expertos en el tema del tapial, como el Arq. Cesar Piedra y Arq. Iván González concuerdan en que la tierra del sector es apta para la realización de la Técnica.



## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### 2.2. Pruebas ancestrales, empíricas o de campo

Se conoce también con el término de pruebas ancestrales, ya que son técnicas que han pasado de generación en generación. Los ensayos se realizan en campo, para elegir ciertos lineamientos en la selección del material y la elaboración del tapial, dependiendo de la experticia y experiencia de la persona que realiza varias de estas pruebas alcanzan resultados parecidos a los ensayos técnicos de laboratorio.

#### 2.2.1. Prueba del olor

El objetivo de esta prueba es identificar la presencia de humus o materia orgánica en la muestra. La tierra pura es inodora, mientras que cuando existe la presencia de materia orgánica tiende a adquirir un olor a moho debido a la descomposición.

#### 2.2.2. Prueba de la mordedura

Con el fin de determinar la presencia de limos y arcillas; esta prueba se realiza mordiendo levemente una muestra de suelo húmedo, si esta produce una sensación desagradable, podemos decir que se trata de un suelo arenoso, por el contrario los suelos arcillosos dan una sensación suave, pegajosa o harinosa.

#### 2.2.3. Prueba del color

Por medio de la observación del suelo, es posible determinar si se trata de un suelo orgánico o inorgánico; dependiendo del color observado (ver imagen b10). Es recomendable utilizar muestras secas, ya que el suelo húmedo puede alterar drásticamente sus propiedades físicas. Los suelos inorgánicos tienden a ser de colores claros y brillantes; por otro lado, los suelos orgánicos son de colores castaño oscuro, negro, o verde olivo.



Imagen b10 Colores de tierra. Fuente: <http://viaorganica.org/mexico-tiene-30-de-los-32-tipos-de-suelo-existentes/>



#### 2.2.4. Prueba del brillo

Esta prueba se realiza para determinar la cantidad de arcillas mediante el brillo de las partículas, el suelo debe ser molido y mezclado con agua; creando una masa con la que se pueda formar una bola de aproximadamente 4cm de diámetro, posteriormente se corta la muestra por la mitad y observamos las superficies; si estas muestran un alto brillo, es un suelo con altas cantidades de arcillas, por otra parte si tiene poco brillo, se trata de un suelo con limos; y, si en la muestra se observa un tono opaco, es un suelo arenoso.

#### 2.2.5. Prueba de sedimentación

Esta prueba nos ayuda a identificar la composición del suelo, mediante la decantación. El ensayo consiste en agitar en un frasco una muestra de tierra con agua (ver imagen b11); en donde las partículas más grandes quedan

en el fondo, dejando limos y arcillas en la parte superior (ver imágenes b12 y b13), de esta manera es posible tener una idea de la clasificación del suelo, aunque según (Minke 2005, p.27), el margen de error de este ensayo puede llegar a ser muy alto.

#### 2.2.6. Prueba de la cinta

El objetivo de esta prueba es determinar el grado de plasticidad del material. Con el suelo previamente humedecido se procede a amasarlo, formamos una cinta de aproximadamente 20cm de largo (ver imágenes b14 y b15); para comprobar lo manifestado, la cinta puede ser colocada en el filo de una mesa o sobre nuestra mano; si ésta, se rompe a más de 15cm, se trata de un suelo arcilloso, al contrario, si la muestra se rompe a menos de 5cm, quiere decir que el suelo posee un alto contenido de arena y es apto para la construcción de tapial (ver imágenes b16 y b17).



Imagen b11: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de sedimentación [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b12 b13: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de sedimentación [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### 2.2.7. Prueba de la pastilla

La prueba nos ayuda a determinar la resistencia seca del material; con la muestra previamente molida y humedecida, debemos formar una pastilla o ellipse de 5cm de diámetro por 2cm de alto aproximadamente (ver imagen b18); una vez seca la pastilla, la colocamos entre nuestros dedos: pulgar, índice y medio para tratar de romperla (ver imagen b19); los suelos arcillosos son más resistentes que los arenosos.



### 2.2.8. Prueba del lavado de manos

El ensayo tiene como objetivo, examinar la cantidad de partículas de arena. El porcentaje de arena es un factor importante, a la hora de realizar un muro de tierra apisonada; este contenido de arena debe ser mayor al de la arcilla; el ensayo consiste en tomar la muestra húmeda y frotarla entre las manos (ver imagen b20); si se sienten claramente las partículas,



Imagen b14 b15: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de la cinta [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b16 b17: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de la cinta [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b18: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de la pastilla [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b19: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de la pastilla [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



significa que es un suelo arenoso o gravoso; si la muestra se torna pegajosa, pero es posible quitarla fácilmente de las manos, nos indica que es una tierra limosa (ver imagen b21), finalmente, si la muestra es pegajosa y se vuelve difícil quitarla de las manos, significa que es una tierra arcillosa.

#### **2.2.9. Prueba de la caída de la bola (humedad óptima)**

Esta prueba ayuda a determinar la cantidad óptima de agua en el suelo, tomamos con nuestras manos una muestra, para formar una bola de 4cm de diámetro (ver imagen b22), dejamos caer la misma de una altura aproximada de 1.2m (ver imagen b23); si la bola se parte entre 4 a 5 pedazos aproximadamente, el suelo tiene la cantidad correcta de agua; pero si la bola no se parte, ésta posee una excesiva humedad; y, por otro lado, si genera más de 5 pedazos la cantidad de agua es insuficiente.



Imagen b20: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo lavado de manos [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b21: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo lavado de manos [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b22: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo caída de la bola [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b23: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo caída de la bola [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

# ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio físico y mecánicos sirven para la caracterización geotécnica de un suelo y la determinación de propiedades de los elementos a estudiarse; para conseguir el objetivo planteado se utilizó normas tales como ASTM o AASHTO.

Las pruebas físicas (lavado de finos, granulometría, límites de Attemberg y humedad) fueron realizadas en base a normas (ver Tabla 3). Los requerimientos mínimos para realizar estos ensayos y el éxito de los resultados dependen de los espacios, correcto manejo y almacenaje de muestras, que se tenga en el laboratorio donde se van a realizar los ensayos; también un buen mantenimiento y calibración de los equipos.

Finalmente, cabe aclarar que el correcto manejo de los datos y como estos se muestren es crucial para el proceso de investigación.



## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### 2.3. Pruebas o ensayos de laboratorio      **Equipos y materiales**

Antes de realizar cualquier prueba en laboratorio con tierra, es recomendable realizar el ensayo de la norma ASTM C702 - 98(2003); que consiste en la reducción de una muestra a tamaño de prueba. La prueba consta de 3 métodos para la reducción de muestras grandes de agregados; para nuestro caso se eligió el método B, mismo que consiste en el cuarteo manual de las muestras.

#### 2.3.1. Ensayo de Cuarteo

El objetivo del ensayo es generar una muestra uniforme con el fin de que no exista alteraciones en los resultados de los demás estudios, cabe recalcar que este proceso se lo debe realizar antes de comenzar cualquier ensayo en laboratorio.

- Pala
- Muestra requerida para el posterior ensayo
- Escoba o cepillo
- Lona de aproximadamente 2.00x2.50m

#### Procedimiento

Colocamos la muestra en una lona donde no haya posibilidad de pérdida de material o adición de otros materiales ajenos a la muestra (ver imagen b24) y mezclamos el material volteándolo más de tres veces, posteriormente generamos un círculo con la muestra; el diámetro de la circunferencia deberá ser de aproximadamente 4 a 8 veces el espesor. Con una pala dividimos en cuatro partes y retiramos dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino (ver imagen b25); luego de esto mezclamos nuevamente y repetimos el proceso hasta obtener la cantidad de muestra deseada para los ensayos.



Imagen b24: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de cuarteo de la muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b25: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de cuarteo de la muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



### 2.3.2. Ensayo de lavado

El nombre técnico del ensayo es “Ensayo Normalizado para Materiales Más Finos que Una Criba No. 200 ( $75 \mu\text{m}$ ) en Agregados Minerales Mediante Lavado”, fue realizado siguiendo la norma ASTM C117–03. La prueba permite determinar por medio del lavado la cantidad de muestra que pasa por el tamiz  $75\mu\text{m}$  (Nº. 200); las arcillas se dispersan en el agua, así como otros materiales hidrosolubles que serán removidos de la muestra durante el lavado.

El ensayo es muy importante para la determinación exacta de las arcillas. Se debe hacerlo antes del ensayo de tamizado en seco (Ensayo de Granulometría), para evitar alteraciones. El valor obtenido deberá ser sumado a la cantidad de material que pasó por el tamiz Nº 200 del cernido en seco.

### Equipos y materiales

- Balanza con exactitud de 0.1gr
- Tamiz Nº 200
- Contenedor
- Horno con temp. uniforme  $100^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$ .
- Grifo de agua

### Procedimiento

El procedimiento consiste en la colocación de la muestra en el tamiz Nº 200. Se agita manualmente la muestra con el agua común y corriente (ver imagen b26), hasta que el agua que pase por el tamiz sea cristalina (ver imagen b27). El resultado es el porcentaje de masa de la muestra original y se presenta como porcentaje de material, más fino que el tamiz  $75\mu\text{m}$  (Nº 200), por lavado.

Imagen b26: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de lavado de la tierra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b27: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de lavado de la tierra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### 2.3.3. Ensayo de granulometría

Mediante este ensayo determinaremos la distribución del tamaño de partículas presentes en una muestra de suelo. Según la norma ASTM- C136 previo a la realización de este ensayo es necesario aplicar la norma ASTM C 117; descrito en el ítem anterior. Este ensayo se realizará en base a la norma ASTM D-422-63 y AASHTO T 88 para agregados finos.

Por medio de este ensayo es posible clasificar la muestra de suelo y saber su composición, es decir la cantidad de arenas, limos y arcillas que posee el suelo.

#### Equipos y materiales

- Balanza de precisión 1g y 0,01g.
- Tamices N° 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200, fondo y tapa.
- Horno a temperatura  $105^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

- Recipientes para colocación de muestras.
- Bandejas.
- Cepillo metálico
- Muestra de tierra (300gr)

#### Procedimiento

Inicialmente colocamos poco más de 300gr de tierra en el horno a  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  de temperatura, luego de 24 horas tomamos la muestra seca y pesamos 300gr en una balanza con precisión de 0.01gr (ver imagen b28); la muestra debe ser colocada en los tamices previamente ordenados, desde el N° 4 hasta el N° 200. Colocamos en la tamizadora por 10 minutos (ver imagen b29), para luego pesar la cantidad de material retenido en cada uno de los tamices y tabulamos con las siguientes fórmulas (ver imagen b30).



Imagen b28: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de granulometría [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b29 y b30: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de granulometría [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



#### 2.3.4. Ensayo de contenido de humedad

El contenido de humedad es un factor muy importante a la hora de trabajar con tierra, es el responsable del comportamiento del suelo y básico para conocer sus propiedades.

$$\% \text{ de humedad} = (\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}) / (\text{Peso seco}) * 100$$

#### Procedimiento

El proceso se realiza tomando tres recipientes metálicos, estos deben estar limpios, secos y numerados; posteriormente tomamos 30g de la muestra en cada recipiente y lo dejamos secar en el horno, con temperatura uniforme de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , luego de 24 horas sacamos las muestras del horno y las pesamos (ver imagen b31) con la finalidad de realizar los respectivos cálculos. Finalmente, mediante el uso de fórmulas podremos determinar contenido de humedad del suelo (ver imagen b32).

#### 2.3.5. Ensayo límite líquido

Es conocido como la cantidad de humedad por debajo de la cual el suelo se comporta como un material plástico, expresado como porcentaje del peso del suelo seco, en esta etapa el suelo se encuentra en el punto de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

#### Equipos y materiales

- Balanza de precisión 1g y 0,01g.
- Cuchara o copa de casagrande
- Ranurador o acanalador
- Bandeja metálica
- Espátula
- Tamiz N° 40
- Capsulas
- Martillo de goma

Imagen b31: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de humedad. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b32: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de humedad [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### Procedimiento

Pulverizamos con un martillo una muestra de suelo, que será tamizada en la criba N° 40, hasta obtener 100gr aproximadamente, luego mezclamos con agua limpia hasta obtener una pasta homogénea; para colocar en el aparato de Casagrande y mediante el uso de un ranurador tipo ASTM, dividimos en dos partes formando un canal (ver imagen b34). Posteriormente se los deja fluir juntos hasta que los bordes del canal se unan con aproximadamente 25 golpes; si la muestra se une entre 25 y 45 golpes, se puede continuar con el ensayo, donde se juntan los canales, se debe tomar aproximadamente 20g, y colocarlo en un recipiente (ver imágenes b35 y b36); para luego determinar el contenido de agua, el proceso se repetirá varias veces para poder graficar la línea que define los límites líquidos.



Imagen b33: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de límite líquido. Materiales y equipos [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b34: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de límite líquido. Ranurado de la muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b35: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de límite líquido. División previa a la toma de muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b36: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de límite líquido. Toma de una fracción para el posterior secado en horno. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



### 2.3.6. Ensayo límite plástico

El límite plástico es conocido como el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como un material no plástico. Con este ensayo podemos determinar la plasticidad que tienen las arcillas. Según Atterberg la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino que en su lugar es circunstancial y depende de la cantidad de agua que tenga el suelo. Es conocido como el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como un material no plástico.

### Equipos y materiales

- Balanza de precisión 1g y 0,01g.
- Bandeja metálica
- Tamiz N° 40
- Capsulas
- Papel
- Agua

Imagen b37: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de límite plástico. Equipos y materiales [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b38: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de límite líquido. Rollos realizados con la muestra [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

### Procedimiento

Una vez pasado el suelo por el tamiz N° 40, mezclamos con agua hasta obtener una masa con la que sea posible realizar rollos de 3.2mm (1/8 de pulgada) de diámetro, sin tomar más de dos minutos (ver imágenes b37 y b38). Una vez realizados los rollos de 3.2mm tomamos tres muestras y las colocamos en un recipiente para poder calcular la humedad. El procedimiento, basado en la norma ASTM D-4318, nos dice que el contenido de humedad en este punto es conocido como el límite plástico.

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### 2.3.7. Ensayo de densidad

El objetivo del ensayo es determinar la gravedad específica del suelo ( $\gamma$ ); el cual difiere según el tamaño de las partículas y el tipo de suelo analizado. Para muestras de suelo menores a 5mm es recomendable utilizar el método del picnómetro de Le Chatelier. El valor de  $\gamma$  (gravedad específica) de un suelo nos sirve para calcular la relación de vacíos de un suelo necesario para graficar la recta de saturación máxima en el ensayo de compactación de Proctor.

### Equipos y materiales

- Balanza de precisión 1g y 0,01g.
- Embudo
- Pipeta
- Termómetro
- Secador
- Brochas

- Picnómetro con capacidad  $\geq 1000\text{ml}$
- Reductor de presión, bomba de vacío
- Agua destilada o desmineralizada, kerosene, alcohol, éter o una solución disolvente de grasas
- Horno a temperatura constante de  $110^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$
- Equipo de baño María a temperatura constante

### Procedimiento

Una vez tamizado el suelo, se lo deja secar en el horno por 24 horas y se extraen 55g para dejarlos enfriar por 30 minutos, volvemos a pesar el material frío para poder determinar la humedad que absorbió el suelo en reposo (humedad higroscópica), luego llenamos el picnómetro hasta alcanzar la marca cero con agua destilada (ver imagen b41), agregamos la muestra con un embudo (ver imagen b39) y agitamos con el fin de eliminar todas las burbujas; finalmente colocamos el picnómetro en horizontal y tomamos las medidas tanto en el cuello como en la parte inferior del menisco, para posteriormente obtener los resultados (ver imagen b43).



Imagen b39: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de densidad. Colocacion de la muestra con el embudo [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



Imagen b40: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de densidad. Equipos y materiales [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b41: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de densidad. muestra colocada en el picnómetro [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b42: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de densidad. Picnómetro colocado en equipo de baño maría [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b43: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de densidad. Medición de los resultados [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 2 ASPECTOS FÍSICOS Y FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ELABORACIÓN DEL TAPIAL

### 2.3.8. Ensayo de proctor estándar

Para el estudio del tapial es importante conocer las propiedades del suelo, como resistencia al corte, compresibilidad, o la permeabilidad; ya que la técnica está basada en la compactación del suelo, es necesario saber si estas propiedades son satisfactorias; esta prueba permite determinar el porcentaje de compactación y la saturación del agua, ideales para alcanzar las propiedades requeridas del suelo. Como lo describe la norma ASTM D698 – 07.

#### Equipos y materiales

- Molde de 4 pulgadas
- Martillo o pisón
- Balanza de precisión 1g y 0,1g.
- Horno a temp. constante de  $110^{\circ}\text{ C} \pm 5^{\circ}\text{ C}$
- Enrazador
- Bandejas
- Taras

#### Procedimiento

Primero secamos el material, mismo que puede ser al aire libre o en el horno; con el uso de un rodillo trituramos levemente la muestra, con el fin de eliminar los terrones; agregamos agua en un 2%, 4%, 6%, 8% y 10% para cada una de las muestras, en el molde de dimensiones estandarizadas (ver imagen b44); luego colocamos tres capas de suelo, cada una de ellas compactamos mediante 25 golpes con un martillo o pistón de 5.50-lbf (24.47-N); mismo que caerá de una altura de 12in (304.8mm) (ver imagen b45); de este modo el suelo es sometido a un esfuerzo de compactación de  $12400\text{ ft-lbf / ft}^3$  ( $600\text{ kN-m/m}^3$ ), inmediatamente retiramos el collarín y enrazamos; retiramos la base sin olvidar registrar el peso del suelo más el molde (ver imagen b46). Concluido el proceso tomamos una muestra, preferiblemente del centro del



Imagen b44: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de proctor estándar. Equipos y materiales [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



cilindro; para calcular el contenido de humedad.

Imagen b45: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de proctor estándar. Compactable del material mediante 25 golpes [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen b46: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de densidad. Toma de muestras para el cálculo de humedad [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

# conclusiones

## cap 2

Luego de la estricta revisión de normas, documentos, regularizaciones y estándares técnicos sobre el tapial, se concluye que: cada documento recomienda tamaños y formas variadas; se observó que pocas son las normativas que recomiendan detallada y específicamente la forma de elaborar la muestra, así como el número de prototipos, capas, días de secado, cantidad de energía aplicada en cada capa, especificaciones para el pisón, etc.

Las pruebas empíricas o ancestrales son una práctica milenaria que en nuestra investigación tuvieron grandes aportes; tal es el caso de la prueba del contenido de humedad, brillo, lavado de manos, cinta, entre otras.

Para construir en tapial se debe recurrir a las normas, documentos, regularizaciones y estándares técnicos sobre el tapial, mismas que ofrecen opiniones comunes y varias recomendaciones en cuanto a: espesores de

los muros, resistencias mínimas a compresión, días de secado de los muros, contenido óptimo de humedad, dimensiones apropiadas para los ensayos, adición de estabilizantes, etc.

Las normativas revisadas carecen de especificaciones técnicas precisas que permitan medir la resistencia de una muestra de tapial frente a la flexión.



# CAPÍTULO 3

## CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL



## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### 3.1. El tapial aplicado a la arquitectura contemporánea

Con el paso del tiempo, la construcción con tierra ha ido ganando terreno, notando que más arquitectos se interesan por la técnica en mención (ver imagen c1). La tierra se ha convertido en un recurso muy valorado por muchos, por su tradición constructiva y por las características saludables que posee en comparación con materiales como: el acero, hormigón armado, ladrillo, etc. La energía que necesita para ser producido es muy baja y no requiere transporte. Además, los materiales antes mencionados, aparte de necesitar mucha energía, contaminan en gran escala el medio ambiente.

Según (Fabio Gatti, 2012, p.05) actualmente la construcción es uno de los principales sectores en producir residuos y la que consume más materiales y energía. La tierra es un material

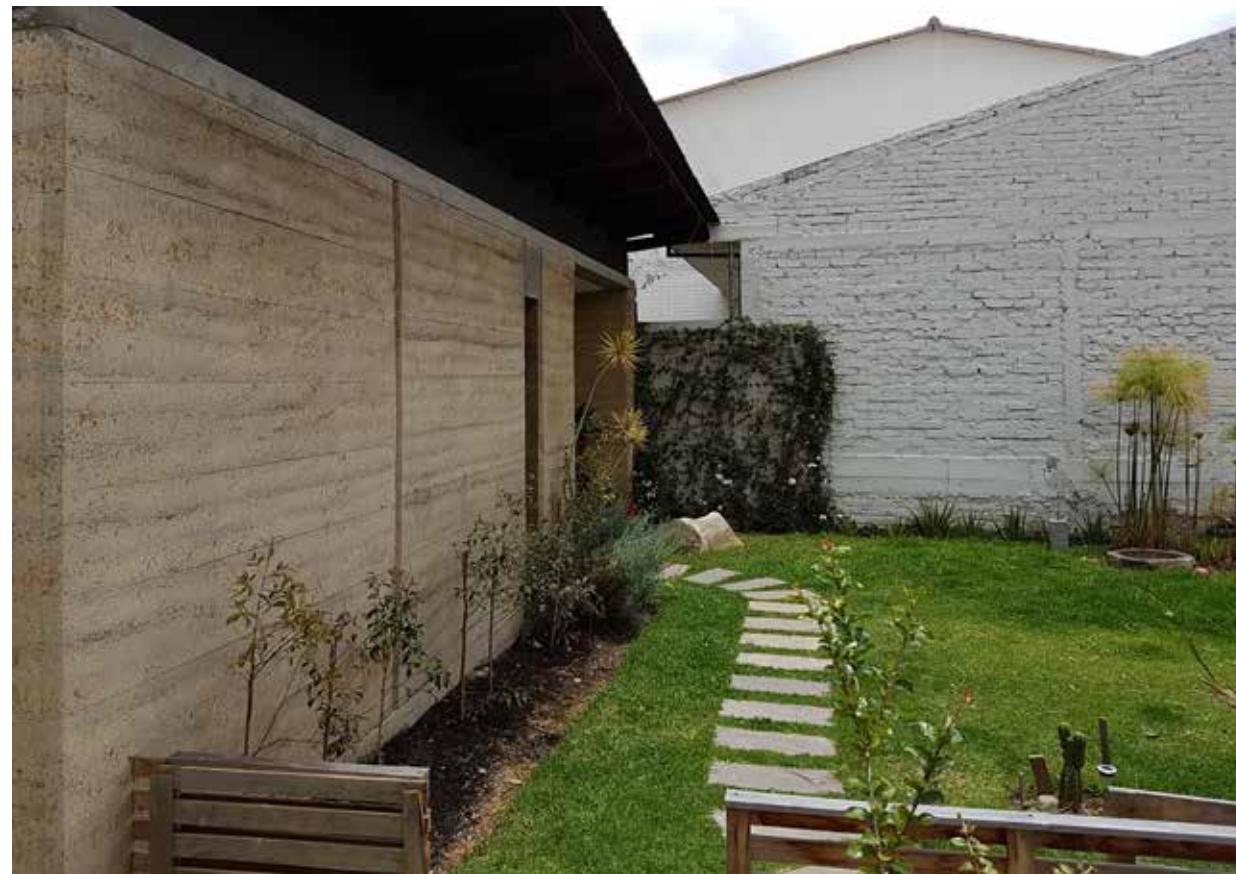


Imagen c1: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Vivienda en tapial Arq. Juan Pablo Vasquez. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



que se lo puede encontrar en cualquier lugar y en abundancia y posee innumerables ventajas. Al hablar de la arquitectura en tierra se puede pensar que es una técnica primitiva, pues esto no es así; gradualmente los países desarrollados realizan investigaciones acerca de nuevas técnicas o formas en las que se puede hacer uso de la tierra; tal es el caso de los muros prefabricados (ver imagen c2) de tierra, los cuales permiten un óptimo proceso de construcción industrializada, además de una evolución y desarrollo a la técnica de apisonar la tierra.

Durante el proceso de investigación nos hemos dado cuenta que, la técnica vernácula del tapial como la conocíamos, es solo una base para los innumerables temas de investigación que se pueden llevar a cabo, hoy en día se puede hablar de tierra ya como parte de la arquitectura contemporánea, sin embargo, la pregunta es ¿Cómo puede la tierra apisonada



Imagen c2: Paredes prefabricadas de tapial (Rammed-Earth Walls).  
Fuente: <http://www.lehmtonerde.at/en/products/product.php?aID=70>

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

seguir actualizándose frente a otras técnicas de construcción en constante evolución? Pues la respuesta a esa pregunta es adaptar el tapial a la era moderna. El mayor reto para los arquitectos es convencer a la gente de confiar nuevamente en el tapial y en los beneficios que nos puede ofrecer.

### 3.2. La tierra como material de construcción

La tierra es el material más abundante del mundo para la construcción, incluso puede ser obtenido directamente del sitio al momento de excavar los cimientos; en varios países se está convirtiendo en uno de los materiales de mayor importancia a la hora de construir (ver imágenes c3 y c4). Por otro lado, en países en vía de desarrollo ha sido casi imposible satisfacer la demanda de materiales industrializados como el hormigón, acero, ladrillo, etc. Por tal motivo, estos países se han



Imagen c3: Escuela de Artes Visuales de Oaxaca / Taller de Arquitectura. Mauricio Rocha

Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>



Imagen c4: Escuela de Artes Visuales de Oaxaca / Taller de Arquitectura. Mauricio Rocha

Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl>



visto en la necesidad de optar por las técnicas de autoconstrucción con materiales locales. Las personas que realizan sus viviendas, por lo general buscan que sea económica y confortable (Minke, 2005), algunas investigaciones afirman que “Se ha comprendido que la tierra como material de construcción natural, tiene mejores cualidades que los materiales industriales como el hormigón, los ladrillos y los sílico-calcáreos” (p. 13).

Hoy en día según estudios realizados con varias técnicas de construcción con tierra, han demostrado que la tierra no solo es apta para la autoconstrucción, sino también para la construcción industrializada. En países vanguardistas como Francia, Australia y Estados Unidos empezaron a reconsiderar el potencial del tapial con técnicas de manera sofisticada. (Elia-Anna, GALIOUNA. Lars, HAMMER. Giorgio, 2014, p.6); pero no solo estos países empezaron a reconsiderar la

técnica, de igual forma lo aplicaron España, el Reino Unido, Alemania, entre otros a nivel del mundo.

#### **¿Beneficios de usar la tierra en la contrucción?**

Las construcciones con tierra datan de hace más de 9000 años según (Minke, 2005, p.13); todas las culturas antiguas utilizaron la tierra no solo en la construcción de viviendas sino también en fortalezas y obras religiosas, en las culturas primitivas no siempre se disponía de madera o piedra, por lo que vieron la necesidad de crear técnicas con nuevos materiales, en este caso, la tierra como material para la fabricación de muros o como material aglomerante al momento de construir paredes de piedra. Si la tierra ha estado presente desde el inicio de la arquitectura y hasta el día de hoy no ha muerto, al contrario, hoy en día mucha gente se interesa en el uso a la hora de construir; se puede decir que ha sido por las grandes propiedades que

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

posee. A menudo vemos a la tierra como un material de construcción rural; sin embargo, existe muchas obras de arquitectura realizadas en un entorno urbano.

La tierra como material de construcción tiene muchas ventajas, entre ellas podemos destacar su expresión como material, el confort térmico, fácil aplicación en la construcción, etc.

### 3.2.1. Confortable y saludable

Hoy en día muchas personas sufren grandes trastornos físicos o mentales por estar en ambientes interiores que no ofrecen ningún tipo de confort, muchos arquitectos han dejado de pensar en la comodidad del usuario; simplemente piensan en el diseño y en la estabilidad estructural de la edificación. Pero las personas cada vez requieren una mayor calidad de espacios debido a los fuertes agentes climáticos que afectan cada vez más

a nuestro planeta; sin dudarlo uno de los mejores materiales es la tierra, ya que posee innumerables bondades en cuanto al confort, se dice que un muro de tierra es un “muro vivo”, que siempre mantiene un pequeño porcentaje de humedad; dicho muro al contener una mínima cantidad de agua tiene la capacidad de refrescar y renovar el aire interior. Y para el caso de lugares fríos los muros tienen la capacidad de almacenar el calor en el día y crear un espacio confortable en la noche.

### 3.2.2. Masa térmica

La tierra apisonada se comporta como una masa de grandes proporciones, dicho muro absorbe y ralentiza el paso del calor en su interior; para luego liberar ese calor cuando baja la temperatura, es decir, los muros son una buena fuente para almacenar calor y se convierte en un material ideal para climas fríos. Por otro lado, la tierra en climas cálidos puede comportarse

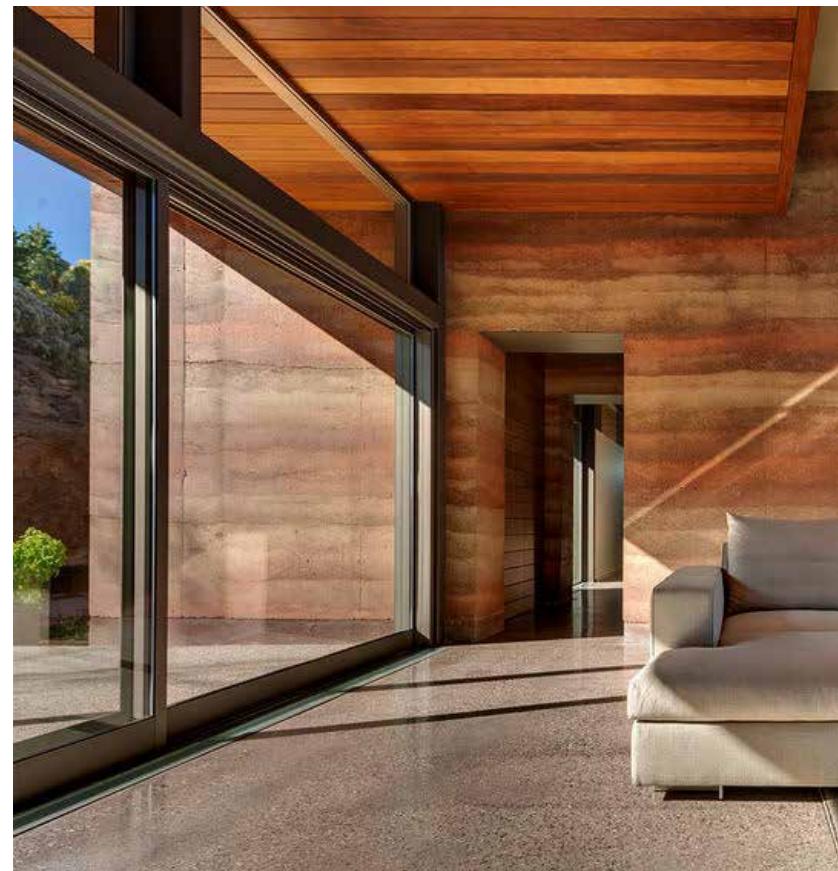


Imagen c5: Casa de tapial. Fuente: <http://www.budwell-creations.com/new-page-3/>



de manera diferente; ya que al ser masas térmicas, estas pueden almacenar demasiado calor y por el contrario ser perjudicial para la salud y comodidad del usuario. Por esta razón es importante el correcto uso de las facultades de diseño del arquitecto para lograr los mejores resultados.

### 3.2.3. Valor estético

La tierra sin dudarlo tiene un valor estético incomparable, un material tan simple pero que a la vez posee texturas únicas, que de alguna manera seducen al ojo humano (ver imágenes c5 y c6). La infinita riqueza de tonalidades que nos ofrece es una de sus principales ventajas, sabemos que los colores que manifiesta la naturaleza varían siempre de lugar a lugar, por este motivo es que la mayoría de edificaciones construidas con tapial dejan que el mismo material sea el que luzca y se visualice claramente, agregando valor al aspecto formal

de la obra; mientras visualizamos los increíbles efectos cromáticos dejados por las capas que la técnica requiere al levantar los tabiques; el cual proporciona un recurso de diseño donde las estratificaciónes horizontales producen sensaciones tranquilizantes.

El suelo natural posee una gama extensa de colores, que pueden ser intercalados, creando nuevos diseños en los cuales se puede añadir colorantes vegetales y lograr múltiples efectos (ver imagen c6).



Imagen c6: Garangula Art Gallery, Harden, NSW. Fuente: <http://www.rammedearth-constructions.com.au/portfolio/>

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### 3.2.4. Valor estructural

El tapial ha sido una técnica que ha transcurrido a lo largo del tiempo. Estudios en Nueva Zelanda han demostrado que los muros de tapial se comportan de mejor manera en un sismo frente a ladrillos o bloques separados, es decir, la tierra apisonada puede ser utilizada para obtener grandes resistencias y reforzarse de manera similar al hormigón (Fabio Gatti, 2012 p9)

### 3.3. Modernización del tapial

Sabemos que la técnica de apisonar la tierra no es reciente en lo absoluto; es una técnica que lleva miles de años; no obstante, hoy se la puede considerar como un material contemporáneo, en otras palabras, la esencia del tapial perdura como la técnica de apisonar la tierra; pero se puede decir que es una base para el trabajo que se está haciendo hoy en día, la tecnología

avanza muy rápido y ¿porqué no utilizarla en nuestro beneficio?

En el mundo existen varias empresas que se han dedicado a trabajar con tierra, enfocándose en la arquitectura contemporánea, tal es el caso de la empresa estadounidense “Rammed Earth Works”, la cual se dedica a trabajar con paneles, muros de tapial (ver imagen c7) y bloques de tierra comprimida (BTC); creando obras contemporáneas de gran valor.

#### 3.3.1. Rammed Earth Works

La empresa fue creada por David Easton, establecida en los Estados Unidos desde 1976. Rammed Earth Works ha construido cientos de proyectos de alto perfil (ver imágenes c8 c9 c10 c11), su éxito se basa en las innovaciones tecnológicas que han implementado en sus productos y la confianza que han sembrado en sus clientes. Años de experiencia los ha llevado



Imagen c7: Windhover contemplative center. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/windhover-contemplative-center/>



Imagen c8: American AGcredit lobby. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/americancredit-rammed-earth-lobby-wall/1>

Imagen c9: Buena Vista Residence. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/buena-vista-residence>



Imagen c10: Pre-Cast rammed earth panels. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/windhover-contemplative-center/1>

Imagen c11: St. Helena Residence. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/st-helena-residence>

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

a convertirse en una de las más grandes e importantes empresas a nivel mundial; según David Easton los factores necesarios son la elección correcta del suelo, el diseño de la mezcla, los métodos de mezcla y la técnica de compactación. Si bien es cierto dentro de la empresa tiene una innovación tecnológica elevada, pero el resultado lo han hecho de tal manera que destaque el carácter natural.

### Tecnología de Rammed Earth Works

Tras varios años de experiencia de la empresa han logrado crear paneles de tapial de 3 y 4 pulgadas (7.5cm y 10cm respectivamente), que se los puede utilizar como muros no estructurales (ver imágenes c13 c14). La fabricación de estos paneles se lo hace in situ o en la fábrica, como primer paso se analiza la tierra del sitio donde se va a realizar la obra rigiéndose a las respectivas normas. Una vez aprobado el suelo y sus características proceden a la fabricación

de los paneles, que miden cinco pies de alto por veinticuatro pies de largo (1.5m x 7.3m) y tienen un peso de 1900Kg (ver imagen c12), cuando apenas han salido del molde y 1750 una vez que ha perdido humedad; el objetivo es alcanzar una densidad de 136 libras por pie cúbico ( $2178,51 \text{ Kg/m}^3$ ), casi la densidad del hormigón. Para la fabricación de estos paneles utilizan encofrados tecnificados (ver imagen c15 c16).

Según comenta David Easton hay que tomar en consideración: el tipo de suelo, las tapialeras o encofrados, pisones, entre otros factores; pero cabe destacar que es de gran importancia el contenido de humedad y la compactación con la que se esté trabajando. Es decir, un suelo que no cumpla con las características se lo puede mejorar o estabilizar, un encofrado puede variar, los pisones de igual forma pueden cambiar, pero la humedad debe siempre estar controlada al igual que la fuerza de compactación para lograr los óptimos resultados.



Imagen c12: Panel de tierra apisonada. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/pre-cast-rammed-earth/4>



Imagen c13: Colocacion de tierra en el encofrado. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/blog/2016/1/30/pre-cast-rammed-earth>

Imagen c14: Compactación mecánica de los muros. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/blog/2016/1/30/pre-cast-rammed-earth>

Imagen c15: Traslado de los paneles en la fábrica. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/blog/2016/1/30/pre-cast-rammed-earth>

Imagen c16: Paneles de tapial terminados: <https://www.rammedearthworks.com/blog/2016/1/30/pre-cast-rammed-earth>

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### 3.3.2. Varios ejemplos de arquitectura contemporánea en tapial

#### Bella Vista residence

Una vivienda diseñada por Noel Cross + Architects y construida por Evans construction Inc; está ubicada en la bahía de San Francisco e incorpora varios elementos de sustentabilidad y construcción ecológica; sin embargo, es su diseño sensible al lugar lo que lo vuelve atractivo, utiliza materiales duraderos, de bajo mantenimiento y con alto valor estético, usa materiales como acero oxidado, chapas de piedra natural y yeso, que combinan con las líneas horizontales de los muros de tierra apisonada. El diseño sobresale porque enfatiza con la naturaleza horizontal, aparenta que la casa se encuentra construida en una ladera. El ingreso se enmarca con los muros de tierra apisonada y en el fondo deja ver un gran paisaje.



Imagen c17: Vista exterior de la casa. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/buena-vista-residence/>



Imagen c18: Vista desde la calle principal. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/buena-vista-residence/>



Imagen c19: Ingreso principal. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/buena-vista-residence/>

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### Mountain view residence

Ubicada en la antigua Mountain View, California; fue diseñada por Juliet Hsu y construido por Rammed Earth Works; es un proyecto que experimenta la repetición de grandes muros de tierra conectados mediante espacios transparentes. La vivienda tiene tres muros de 45cm de espesor; exactamente de 7.30x6.10m cada uno, con el fin de generar un ahorro en el encofrado, tiempo y dinero.

La tierra encontrada en el lugar contenía un elevado índice de arcilla, por ese motivo se le agrego un 60% de arena gruesa para construir los muros. Sus 3.65m de alto dejan ver el mezzanine donde se encuentran los dormitorios junto a la sala de estar, en planta baja contiene la sala, el comedor y la cocina en un solo ambiente perfectamente iluminados y ventilados por el gran ventanal principal.



Imagen c20: Ingreso a la vivienda. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/mountain-view-residence/4>

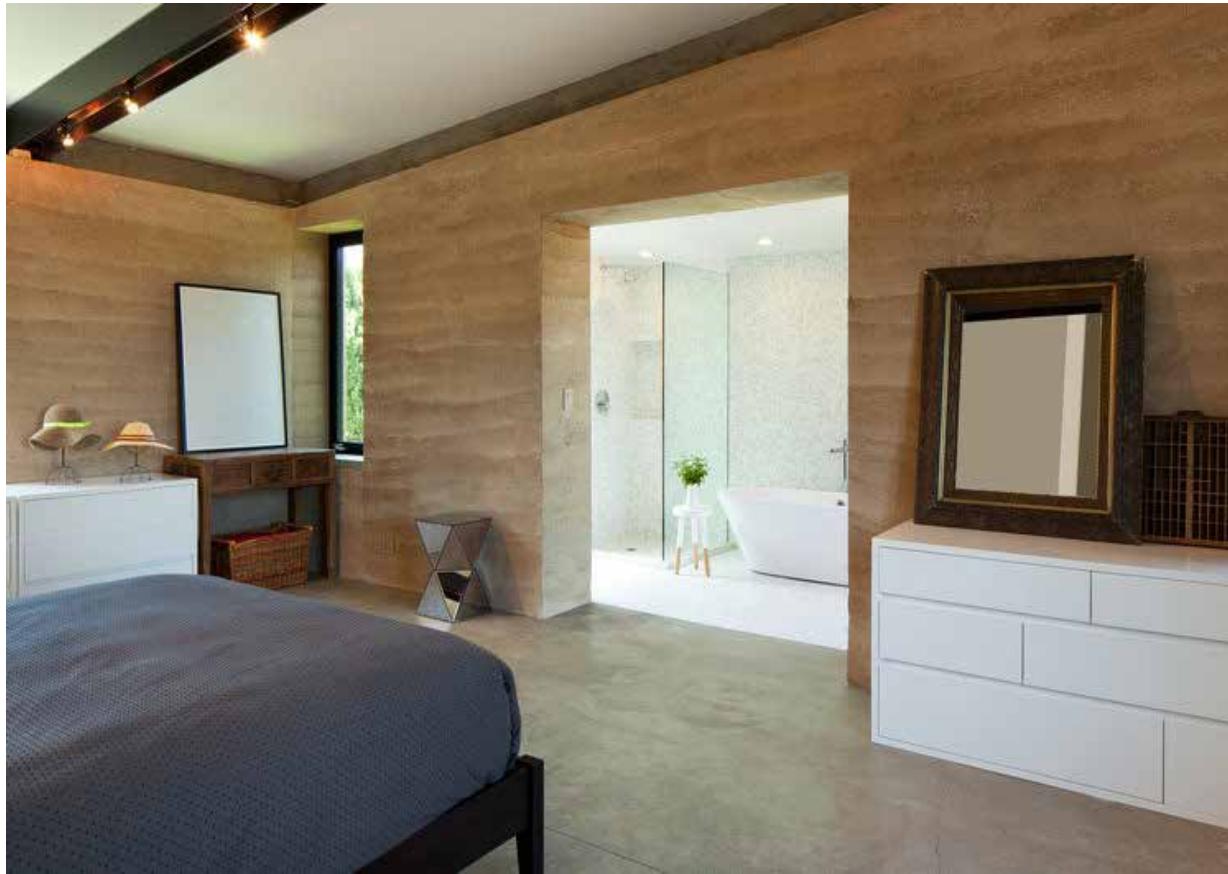


Imagen c21: Dormitorio principal. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/mountain-view-residence/4>



Imagen c22: Baño social. Fuente: <https://www.rammedearthworks.com/mountain-view-residence/4>

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### Piscina municipal de Toro

El proyecto diseñado por Vier Arquitectos, surge como resultado de una propuesta presentada en un concurso público en el año 2004 por el municipio de Toro en Zamora España; la propuesta según los diseñadores busca la integración con el extraordinario patrimonio arquitectónico de la ciudad. Lo que se buscó fue dar una expresión del legado patrimonial de Toro, sin dejar a un lado al lenguaje que le puede otorgar la arquitectura de nuestro tiempo.

El lugar se defiende del clima exterior y de las vistas no deseadas mediante sus grandes muros de tierra apisonada. La correcta utilización de los materiales y escala, lo hacen ver un lugar monumental muy llamativo. La iluminación y ventilación se da mediante una serie de patios interiores distribuidos estratégicamente, que además permiten el control visual de los espacios.



Imagen c23: Ingreso principal. Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-82785/piscina-interior-en-toro-vier-arquitectos>



Imagen c24: Salón de piscina. Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-82785/piscina-interior-en-toro-vier-arquitectos>



Imagen c25: Iluminación en sala de piscina. Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-82785/piscina-interior-en-toro-vier-arquitectos>

Imagen c26: Paillos del complejo. Fuente: <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-82785/piscina-interior-en-toro-vier-arquitectos>

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### 3.4. ¿Por qué alivianar el tapial?

Con el uso del tapial alivianado creemos que es posible reducir el peso en los muros de tierra, alcanzando una mayor eficiencia en temas estructurales; esto con el fin de hacer competitivo un material ancestral frente a los actuales; generando una búsqueda de nuevas formas para muros estables con perforaciones y permitiendo a la arquitectura nuevos conceptos en tierra.

Durante el proceso de investigación se han analizado varios materiales con los que creemos es posible alivianar el tapial, usando materiales que poseen propiedades que ayudan a disminuir su densidad. El procedimiento está basado en reemplazar parte del volumen de un material por otro de menor densidad tales como áridos ligeros, o incluso aire pueden aportar a la conformación de un material celular. Este tipo de materiales aportan en gran medida al aislamiento acústico y térmico, además de la resistencia al fuego que puede proporcionar.

Otra de las ventajas de alivianar un material es evitar el colapso por sobrecarga debido al propio peso del material en estructuras de gran tamaño. La investigación está basada en la experimentación con materiales encontrados en nuestro medio; es así que buscamos una combinación que influya menos en las propiedades mecánicas del mismo como su resistencia a la compresión y flexión.

Existen diferentes variaciones y utilizaciones en el tapial, como las obras expuestas en la página web Lehmtoneerde (ver imágenes c27, c28, c29, c30 y c31); las imágenes nos muestra un muro de tapial con PVC, donde podemos ver que el proceso de vaciado puede servirnos también para darle a la edificación, un aspecto formal; haciendo uso de las propiedades que cada material nos puede ofrecer.



Imagen c27: Kindergarten Ursula Nikodem-Edlinger.  
Fuente: <http://www.diearchitektur.at/baya/>



Imagen c28: Kindergarten Baya. Proceso constructivo con tierra del mismo lugar.  
Fuente: <http://www.diearchitektur.at/baya/>

Imagen c29: Kindergarten Baya. Edificación terminada.  
Fuente: <http://www.diearchitektur.at/baya/>



Imagen c30: Kindergarten Baya. Muro de tapial con PVC. Fuente: <http://www.lehmtunerde.at/en/projects/project.php?pID=52>

Imagen c31: Kindergarten Baya. Edificación terminada. Fuente: <http://www.lehmtunerde.at/en/projects/project.php?pID=52>

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### 3.4.1. Materiales y técnicas para alivianar

Dentro de lo contemplado en la investigación, nos hemos centrado en conocer la técnica, estudiando la tierra de un lugar donde aún existe evidencia de construcción en tapial (ver imagen c32), inmediatamente proponemos varios métodos con los cuales se podría alivianar el material, es decir; el proceso de investigación consiste en la realización de varios tipos de muestras, aplicando posibles técnicas de alivianamiento.

Los materiales con los que vamos a alivianar el tapial son: Poliestireno expandido (EPS), Policloruro de vinilo (PVC), cabuya y aditivo “Sika poro plus” con el fin de sustituir los materiales antes mencionados por el material mas denso.

#### Tierra utilizada

Una de las mayores ventajas que ofrece el tapial, es poder utilizar la tierra del mismo lugar donde es posible desarrollar la construcción,



Imagen c32: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Casa de la Makana . [Fotografía]. Paute, Ecuador.



Imagen c33: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Valle de Paute. Lugar de extracción del material. [Fotografía]. Paute, Ecuador.

por lo que fue trascendental visitar las zonas a nuestro alcance como es el valle de Paute; sin embargo, no es el único lugar en el país que posee grandes propiedades para sacar el mayor provecho de la tierra, también junto a este valle está ubicado la ciudad de Gualaceo que posee múltiples obras en tapial; y, lo mejor este tipo de tierra no requiere estabilización según los estudios realizados hasta la fecha. La tierra natural para la elaboración de los ejemplos fue extraída del valle de Paute (ver imagen c33); a razón de ser el lugar con mayor cantidad de obras en pie elaboradas con tapial.

La tierra mencionada no contiene ninguna estabilización y durante la investigación usaremos la misma sin modificar ningún aspecto de su composición natural.

#### Ubicación acorde el sistema UTM

Longitud	749 070.00	78° 45' 39.34" O
Latitud	9 687 594.00	2°49'27.27" S

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### Poliestireno expandido (EPS)

El poliestireno expandido o espumaflex como lo denominan en Ecuador, es un material plástico e inerte no cristalino fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno; presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire, donde su densidad nominal oscila entre los  $10 \text{ kg/m}^3$  hasta los  $40 \text{ kg/m}^3$ , convirtiéndolo en un material extraordinariamente ligero pero resistente fácilmente manipulable (ver tabla 7).

Las propiedades físicas del poliestireno expandido o EPS dependen de la densidad a la cual fueron sometidas en los moldes: para entender como este material funciona, es preciso mencionar que en su forma más simple es una perla redonda, pero al adicionar vapor tiende a aumentar su tamaño inicial alrededor de 40 veces. Una de las mayores ventajas del EPS es su capacidad de aislamiento acústico y térmico; tanto al frío como al calor.



Imagen c34: Varias formas de EPS. Fuente: <https://www.achfoam.com/Packaging/Custom-Molded-EPS/Custom-Molded-EPS-Examples.aspx>



Las células tienen una forma poliédrica con diámetros de 0.2 a 0.5 mm de diámetro y una pared de 0.001mm de espesor; aproximadamente cada plancha de espumaflex posee un 98% de aire y un 2 % de EPS; esto influye directamente en su peso y capacidad aislante. En tanto a la absorción del agua, es casi independiente de su densidad y mínima: porque al cabo de 28 días, asciende el 3 % de su relación al volumen inicial; este hecho es debido a que sus paredes celulares son impermeables.

En la investigación, el material se utilizó en varios estados y densidades, creando varias posibilidades de aligeramiento; lo cual nos permite saber con mayor claridad que ocurre al aumentar o disminuir la densidad, de la misma manera, que comportamiento tuvo el tapial con la adición de cada una de las formas con las que se realizó la investigación.

**Tabla 7.** Datos físicos de espumas rígidas

<b>Propiedades físicas</b>		<b>Ensayo según</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado del ensayo</b>		
Tipos de protección de calidad		Especificaciones de calidad GSH		PS 15 SE	PS 20 SE	PS 30 SE
Tipos de aplicación		DIN 18164, parte 1		W	WD	WS + WD
Densidad aparente mínima		EN ISO 845	kg/m <sup>3</sup>	15	20	30
Clase de material de construcción		DIN 4102		B1, difícilmente inflamable	B1, difícilmente inflamable	B1, difícilmente inflamable
Conductividad térmica	Medida a + 10 °C	DIN 52612	mW/(m · K)	36–0,038	33–0,036	31–35
	Valor calculado según DIN 4108	DIN 4108	mW/(m · K)	40	40	35
Tensión por compresión con 10% de recalcado		EN 826	kPa	65–100	110–140	200–250
Resistencia a la presión permanente con recalcado < 2%		ISO 785	kPa	20–30	35–50	70–90
Resistencia a la flexión		EN 12089	kPa	150–230	250–310	430–490
Resistencia al cizallamiento		DIN 53427	kPa	80–130	120–170	210–260
Resistencia a la tracción		DIN 53430	kPa	160–260	230–330	380–480
Módulo E (Ensayo de compresión)		EN 826	MPa	1,0–4,0	3,5–4,5	7,5–11,0
Estabilidad dimensional al calor A corto plazo		DIN 53424 <sup>2)</sup>	°C	100	100	100
Estabilidad dimensional al calor A largo plazo con 20kPa		DIN 53424	°C	75	80	80
Coefficiente de dilatación térmica lineal			1/K	5–7 · 10 <sup>-5</sup>	5–7 · 10 <sup>-5</sup>	5–7 · 10 <sup>-5</sup>
Capacidad térmica específica		DIN 53765	J/(kg · K)	1210	1210	1210
Absorción de agua por inmersión (en vol.)						
Después de 7 días		DIN 53434	Vol. %	0,5–1,5	0,5–1,5	0,5–1,5
Después de 28 días		DIN 53434	Vol. %	1,0–3,0	1,0–3,0	1,0–3,0
Índice de resistencia a la difusión de vapor de agua		DIN 52615	1	20/50	30/70	40/100
Cálculo según DIN 4108/partie 4 (valor más y menos ventajoso)						

Tabla 7. Tabla de propiedades del poliestireno expandido.

Fuente: [www.bASF.com.br/pt.html](http://www.bASF.com.br/pt.html) recuperado el 31 de Julio de 2017.

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### Cabuya

Es un material que se obtiene de la planta del género furcraea; proviene de América Tropical, sobre todo, de las regiones andinas de Colombia, Venezuela y Ecuador. Es una fibra vegetal de bajo costo, también un material biodegradable que al descomponerse se emplea como abono; no contamina el agua y es de producción limpia.

Existen diferentes variedades de cabuya, las cuales se diferencian por el color, largo, ancho, rendimiento y calidad de sus hojas; la cabuya se encuentra dentro del grupo de las fibras duras, ya que sus hojas están constituidas de fibras elementales o fibrillas, unidas entre sí con una goma o cera que le proporciona rigidez. Antiguamente la forma de extraer era mediante la maceración; colocaban las hojas grandes en el agua y mediante la descomposición de la sabia las fibras salían a flote, todo este proceso tenía una duración de 15 días.



Imagen c35: Fibras de cabuya. Fuente: <http://eugeniamuscio.blogspot.com/2013/12/shigras-de-la-sierra-de-ecuador.html>



La fibra de cabuya es un material residual, que ha sido utilizado como refuerzo en la construcción gracias a sus cualidades. Aunque su función ha sido reemplazada por el plástico hace más de 30 años, podemos encontrarla aún en el mercado.

La producción de la cabuya es pequeña, pero hay excelentes iniciativas; como la llevada a cabo por la Universidad Católica de Quito, que intentan sistematizar el proceso. Gracias a su gran esfuerzo, hoy en día los agricultores buscan el valor agregado, la fibra de cabuya para ser procesada debe ser sumergida en agua, y los agricultores lo hacían en los ríos, pero al realizar este proceso la fibra expulsa componentes químicos altamente contaminantes por lo que las aguas del río son afectadas seriamente. El proyecto de la universidad se basa en utilizar estos componentes de una mejor manera y con esto lograr que nada del material se desperdicie, mientras aprovechan al máximo las ventajas de la fibra.



Imagen c36: Planta de cabuya. Fuente: <http://www.allpachaski.com/2015/07/el-agave/>

Imagen c37: Fibra de cabuya procesada. Fuente: <http://artesaniasdefequelostunales.blogspot.com/2011/11/mordentaje.html>



Imagen c38: Fabricación de cabuya. Fuente: <http://www.lehmtonerde.at/en/projects/project.php?pID=52>

Imagen c39: Puente de cabuya. Fuente: <http://eugeniamuscio.blogspot.com/>

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### Policloruro de vinilo PVC

Conocido como Policloruro de Vinilo o PVC es un material plástico; que en su forma original es manifestado como un polvo de color blanco, es un material ligero, químicamente inerte, impermeable y con grandes bondades aislantes para los campos eléctrico, acústico y térmico. El PVC es el tercer plástico más producido después del polietileno y el polipropileno, además, es altamente usado en la construcción, por ser un material dócil y dúctil; siendo su principal aplicación en las tuberías.

En nuestra investigación utilizamos PVC de diferentes diámetros (25mm y 50 mm), tanto en forma vertical como horizontal, es preciso señalar que el material tiene un buen comportamiento con la tierra, es decir, el proceso de compactación no fue retardado; lo cual es muy importante en cuanto a los elevados costos que puede provocar la fabricación de tapiales.



Imagen c40: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Policloruro de vinilo cortado para las muestras . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



## Aditivos

Los aditivos son sustancias orgánicas o inorgánicas que se añaden a diferentes materiales, como el hormigón; antes o durante el proceso de mezclado. Los aditivos para la construcción empezaron en 1824, cuando Joseph Aspdin patento el cemento portland. Los primeros aditivos fueron hidrófugos, posteriormente añadían jabones para mejorar propiedades, tal como la impermeabilidad.

### Sika Poro Plus

Dentro de la arquitectura y construcciones, hoy en día existe una gama extensa de aditivos para diferentes usos y con múltiples finalidades; entre estos encontramos aditivos acelerantes plastificantes, retardantes, reductores de agua, entre otros; cabe recalcar que la mayoría de productos son elaborados específicamente para su uso en el cemento, no obstante, hemos utilizado



uno de estos aditivos para nuestra investigación considerando un solo tipo de aditivo llamado Sika Poro Plus; el cual básicamente es un agente espumante para hormigón celular, que ayuda a disminuir el peso mediante la introducción de partículas de aire.

Es un aditivo que posee una densidad de 1.02 kg/l. Mediante la adición de este producto es posible conseguir hormigones con densidades hasta

1500 kg/m<sup>3</sup>. Sika Poro Plus es un producto que posee baja absorción de agua debido a que las burbujas que contiene no se comunican entre sí; además de no contener cloruros, posee bondades de aislamientos tanto acústicos como térmicos, ya que genera vacíos en el interior del material. Debe aplicarse la cantidad correcta para cada densidad; por este motivo, para nuestra investigación usamos la misma cantidad que especifica el fabricante para 1m<sup>3</sup> de hormigón.

Imagen c41: Productos Sika. Fuente: [http://www.tecnoconst.com.ar/productos\\_produccion\\_del\\_hormigon.html](http://www.tecnoconst.com.ar/productos_produccion_del_hormigon.html)

# capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

## 3.5. Procesos necesarios para la elaboración de las muestras

### 3.5.1. Suelo apropiado

Seleccionar la tierra y comprobar que su composición tenga más arena que arcilla. Para alcanzar el primer resultado puede usar las pruebas ancestrales: lavado de manos, sedimentación y la pastilla; por otro lado, desde el punto de vista técnico se recomienda elaborar la clasificación del suelo según SUCS o según AASHTO.

### 3.5.2. Tapialeras

Preparar las tapialeras con materiales ligeros y resistentes, sin olvidar el uso de un sistema de fácil desencofrado. La medida de la tapialera dependerá del muro que se deseé alcanzar.

### 3.5.3. Apisonamiento

Elaborar un pisón donde su peso sea entre 5 y 10 kg. La forma y materialidad no importan, aunque

recomendamos polígonos para las esquinas o en su defecto un pisón de 2 cabezas para tener las formas requeridas en la misma herramienta.

### 3.5.4. Mezclado del material

Mezclar el suelo con agua hasta tener la humedad óptima; dicha humedad puede ser calculada con la prueba de la caída de la bola, no olvide generar una mezcla uniforme y recordar que la capa exterior de suelo tiende a perder humedad más rápido que las capas inferiores. También se podría determinar la humedad óptima con el ensayo de Proctor.

### 3.5.5. Compactación

Las muestras I, II, III y V fueron realizadas en cuatro capas simétricas compactadas (ver imagen c42 c43 c44) de forma manual con pisones de madera de aproximadamente 2 Kg. Por otro lado, para fabricar los muretes VI y



Imagen c42: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Compactación en muretes. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c43: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Compactación en muestras pequeñas tipo I. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

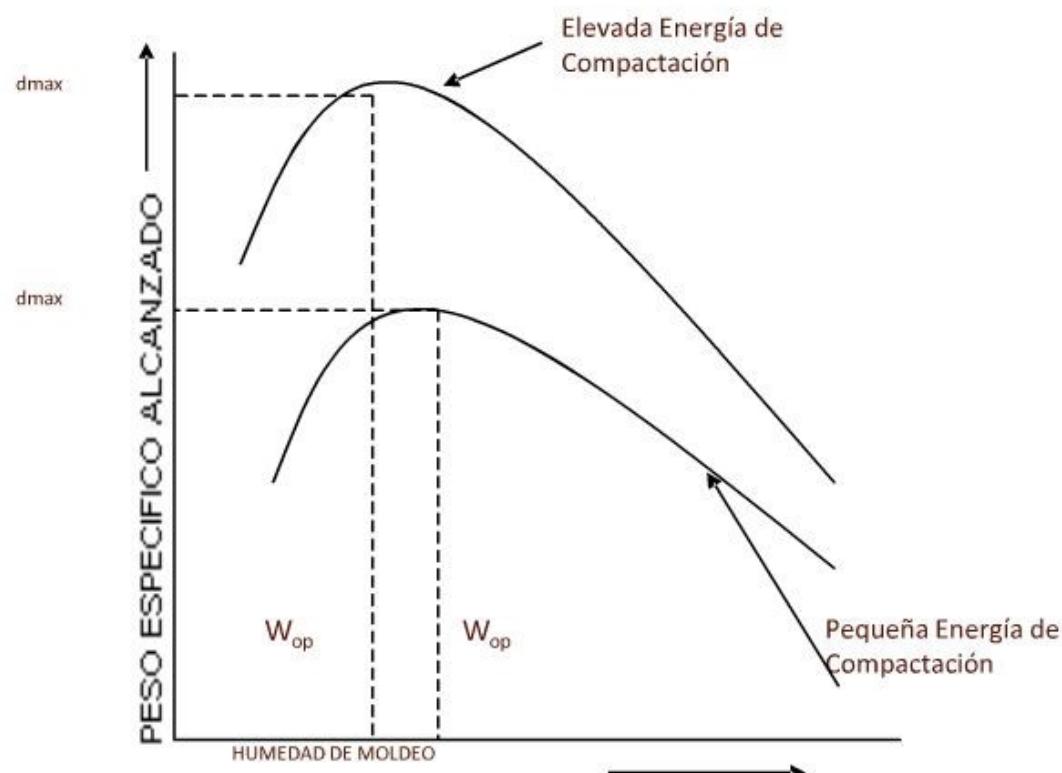


Fig. 7: Curva de saturación esquemática.  
Fuente: <http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2011/10/2.jpg> recuperado el 31 de julio de 2017.



Imagen c44: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Compactación en muestras pequeñas tipo 4. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

VII tratamos de simular la técnica a escala real usado en la construcción; realizamos capas de entre 12 y 15 cm, las cuales después del proceso de compactación se reducían a un 50% a 60% de su volumen inicial.

La compactación es un factor fundamental en el proceso de elaboración de las muestras y obtención de resultados (ver imágenes c76, c77 y c78), algunos documentos respetados sugieren ciertos lineamientos, pero el comúnmente aceptado es el ensayo internacional conocido como Proctor; en algunos casos detallan este proceso o remite a la norma aceptada internacionalmente y en otros casos sugieren dar valores de humedad como la norma peruana E.080. En el mismo sentido todos estos detalles de compactación están directamente relacionados con los valores de la curva porcentaje de humedad vs saturación (ver fig. 7), como expone la teoría del ensayo de Proctor. Básicamente, a mayor

fuerza de compactación, mayor saturación; es importante mencionar que la fuerza de compactación utilizada en el ensayo de Proctor estándar es 591.3 kN.m/m<sup>3</sup>. Resultado de la siguiente formula:

$$E = \frac{(\# \text{ de golpes por capa}) \times (\# \text{ de capas}) \times (\text{peso del martillo}) \times (\text{altura de caída del martillo})}{\text{volumen del molde}}$$
$$E = \frac{(25) \times (3) \times (24.4) \times 0.3048}{943.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 591.3 \times 10^3 \text{ N.m/m}^3 = 591.3 \text{ kN.m/m}^3.$$

Por otro lado, el ensayo de Proctor modificado requiere una energía de 2700 kN.m/m<sup>3</sup>. ya que varía casi todos los factores como el número de capas, golpes, también el peso del martillo y el área del molde (Braja M. Das, 2010).

### 3.5.5.1. Densidades de los suelos

#### Densidad aparente del suelo

La densidad aparente es la relación entre el peso de la muestra del agregado compuesto y el volumen de un recipiente con un volumen

cuantificable. El material dentro del recipiente tiende a acomodarse, después de cada golpe, dejando el menor espacio entre ellas; a mayor peso unitario mayor material dentro del volumen (Pesantes, M.; Gonzalez, 2015, p.29)

#### Existe dos tipos de peso volumétrico:

##### Densidad aparente suelta

Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en su estado natural y el volumen que este ocupa.

##### Densidad aparente compactada

Es la relación entre el peso del agregado previamente compactado versus el volumen que ocupa. La masa se calcula de acuerdo a la norma INEN 858 o ASTM C 29: da=P2-P1

##### Donde:

da= Densidad aparente seca o compactada, (gr/cm<sup>3</sup>)



P<sub>2</sub>= Peso del recipiente más material suelto o compactado, (gr)

P<sub>1</sub>= Peso del recipiente vacío (gr)

v= Volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>)

### Densidad real

Es la densidad media de sus partículas sólidas. Para determinar la densidad se sigue las normas INEN 156 o ASTM C 188.

### Densidad seca

La densidad seca de un suelo depende del tipo de suelo y las propiedades de sus componentes, es útil conocer su densidad para poder calcular durante el diseño la carga de los elementos (Maniatidis & Walker, 2003, p.12), el rango de densidad varía según el código de Australia por ejemplo sugiere valores comprendidos entre 1700 y 2200 kg/m<sup>3</sup> otro ejemplo es según (Bestraten, Hormías, & Altemir, 2011, p.10) acepta variaciones entre los 1400 y 2200 kg/m<sup>3</sup>.

### 3.5.6. Desencofrado

Al momento de desencofrar se recomienda tener cuidado en los bordes y se debería retirar el encofrado uniformemente para evitar lesiones en el murete.

### 3.5.7. Secado de las muestras

Para el secado de las muestras tratamos de simular las condiciones naturales de secado de la tierra apisonada; es decir para ser sometidas a los ensayos mecánicos, las muestras debían secarse por un período de 28 días. En nuestra investigación mencionamos el proceso de secado como un factor importante para la resistencia del tapial, por este motivo un número de muestras fue destinado a este estudio.

Una vez fabricadas las muestras, estas fueron sometidos a pruebas de resistencia a la compresión a los 7 ,14, 21 y 28 días; con la finalidad de entender su comportamiento a través del tiempo.



Imagen c45: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Compactación en muretes. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c46: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Compactación en muestras pequeñas tipo 1. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### 3.6. Formas y tamaños de las muestras a experimentar

En vista de que en el Ecuador no existe una normativa que detalle el proceso para experimentar con tapial; hemos investigado en varias normas vigentes en el mundo sobre tapial, como la norma E.080 de Perú, Nueva Zelanda, España, entre otras y así definir el tamaño y forma de las muestras con las que realizaríamos la investigación (ver figura 6 y tabla 8).

El modelo principal se basa en la reducción a la tercera parte de una tapiadera de escala real. Además, utilizamos cilindros presentes en normativas para el hormigón y cubos para los posteriores análisis. Todas las muestras tipo I, II, III y IV fueron compactadas manualmente en 4 capas iguales tratando de no sobrepasar los moldes establecidos. Las muestras fueron realizadas sin el uso de aditivos o estabilizantes a excepción del modelo: tipo IV, modelo J.

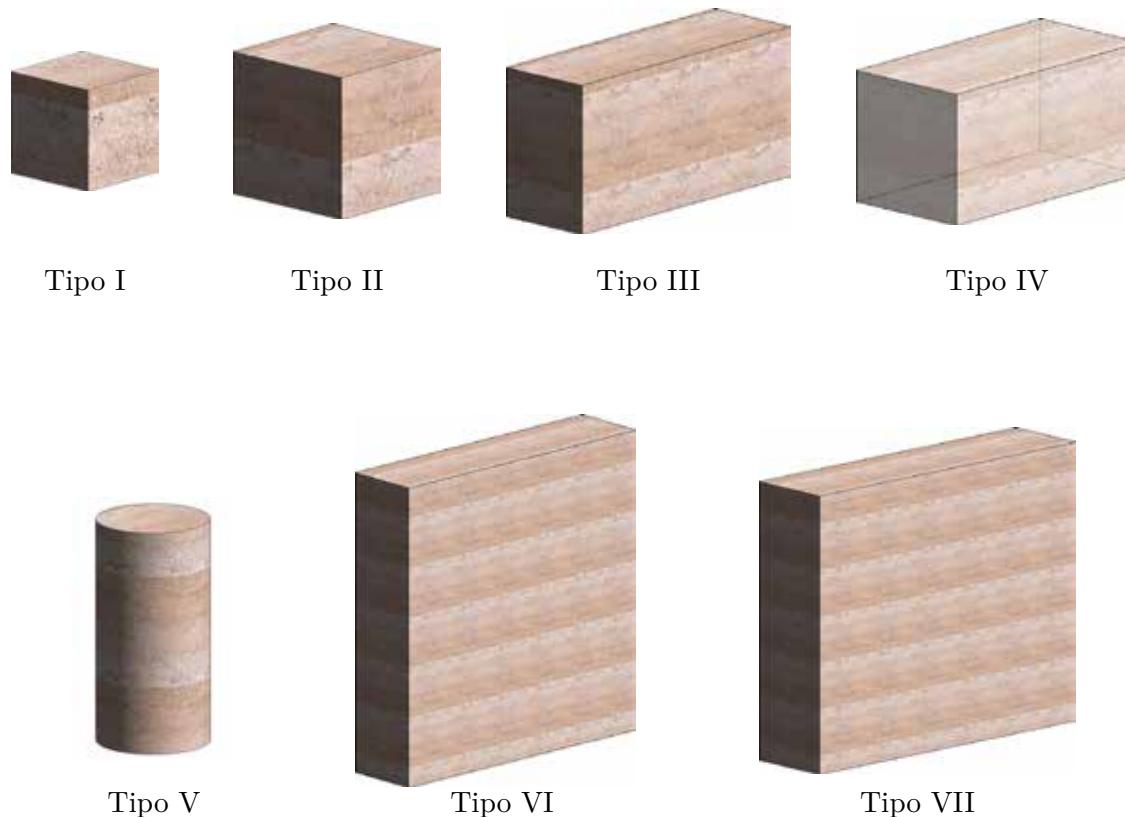


Fig. 6: Forma de muestras realizadas para la investigación.  
Fuente: <http://contierra.files.wordpress.com/2011/07/architectureterremondeg.jpg>. Consulta realizada: 14/7/2014

**Tabla 8.** Resumen de muestras elaboradas

Forma	Detalles de la muestra (mm)						Nº de muestras recomendado	Ensayo tipo ver nota	Observaciones Normas
	Cilindro		Polígono						
	D	h	l	a	h				
I	n/a	n/a	50	50	50		6	A	“Medidas basadas en: MOPT - España”
II	n/a	n/a	102	102	102		4	A	“Medidas basadas en: New Mexico Earthen Building Materials Code” - Estados Unidos”
	-	-	-	-	-		16	A	
III	-	-	200	150	100		4	A	
	-	-	300	150	150		4	A y C	
	-	-	-	-	-		36	A	
IV	-	-	-	-	-		2	B y C	
	-	-	-	-	-		18	B	
	-	-	-	-	-		8	A.1	
V	100	200	-	-	-		12	A.1	
VI	-	-	600	200	600		2	A.2	
VII	-	-	600	200	520		2	D	
TOTAL							114		

Simbología:  
D: Diámetro del cilindro  
h: altura  
l: largo  
a: ancho  
n/a: no disponible  
n/s: bases insuficientes

Notas: los ensayos A, B, C, A1, A2 y D fueron ensayados a los 28 días  
A: Resistencia a la compresión directa  
B: Resistencia a la flexo-compresión  
C: Secado diario hasta  
A1: Resistencia a la compresión directa, 7, 14, 21 y 28 días  
A2: Resistencia a la compresión directa en muros  
D: Resistencia a la compresión indirecta en muros

Elaboración propia

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### 3.6.1. Tapiadoras y encofrados de la investigación

Para la fabricación de las muestras de la investigación usamos diferentes materiales y tamaños de encofrados.

En las muestras del tipo I y V utilizamos moldes de acero provistos por el laboratorio de la Universidad de Cuenca (Ver imágenes c47 y c48) los cuales cumplen con las normas para la realización de morteros de cemento de 5cm de arista ASTM y el molde de 20cm x 10cm de diámetro respectivamente.

En las muestras tipo II, III y IV, utilizamos dos moldes a escala; tomados como referencia de la tapiadora tradicional, donde únicamente variaban las tapas laterales. Fueron construidas a base de tablones de madera de eucalipto de 50 x 20 x 4 cm para las paredes de mayor dimensión, mientras que para las tapas usamos



Imagen c47: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Tapiadora para muestras tipo 1. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c48: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Molde para muestras tipo 5. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c49: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Molde para muestras tipo 1. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c50: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Tapiadora para muestras tipo 2. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



tablas de eucalipto de 15 x 20 x 2 cm y de 10 x 20 x 2 cm respectivamente; todas unidas con pernos de acero (ver imagen c49). Para la muestra tipo II, además de las tapas laterales, se incluyeron dos tapas intermedias; con el objeto de alcanzar las medidas de 10 x 10 x 10 cm necesarias para las pruebas (Ver imagen c50).

Finalmente, en los muretes VI y VII utilizamos una tapialera a escala real (Ver imagen c51) sustituyendo únicamente las tapas laterales por las necesarias con el fin de cumplir con la sección de prueba de muretes dictada por la norma peruana E.080.



Imagen c51: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Tapialera para muretes . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### 3.6.2. Descripción de las muestras experimentadas

#### Muestras tipo I

La forma tipo I corresponde a las muestras con medidas sugeridas por el primer código de construcción en tierra de Europa (MOPT, 1992); en dicho código la recomendación es trabajar con medidas de 5 x 5 x 5 cm. Para la fabricación de las muestras utilizamos los moldes utilizados en las pruebas de morteros de cemento (ver imágenes c52 y c53).

Para fabricar las muestras tratamos de simular la técnica tradicional de apisonar utilizando varias capas. Se realizaron un total de 6 muestras (ver imagen c54) las cuales fueron desencofradas el mismo día de su fabricación. El objetivo principal de realizar estas muestras fue comparar su comportamiento frente a los otros tamaños (muestras tipo I, IV y V), es decir, comparar la resistencia a la compresión (ver imagen c55) y saber si es factible utilizar muestras de tamaño reducido para las pruebas en tierra.

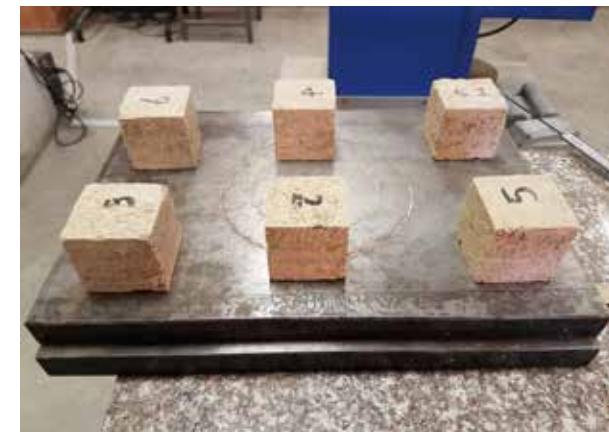
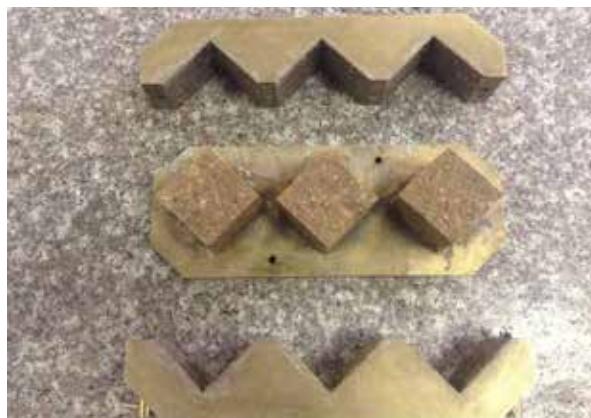


Imagen c52: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Moldes para muestras tipo 1 de 5x5x5cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c53: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Desmoldado muestras tipo 1 de 5x5x5cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c54: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 1 de 5x5x5cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c55: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Prueba a compresión de muestras tipo 1 de 5x5x5cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



### Muestras tipo II

Las muestras tipo II (ver imágenes c56, c57, c58 y c59) se realizaron con el objetivo de analizar la relación que existe entre la resistencia a la compresión y la humedad; el proceso conlleva aumentar la cantidad de humedad progresivamente en las muestras y ver qué resultados obtenemos en función de la humedad. Explicaremos mejor este proceso de análisis en el capítulo 4 de esta investigación específicamente en el ítem 4.4.3.

La forma tipo II fueron realizadas basadas en el primer código de construcción en tierra de América (NMAC, 2004); el código sugiere la experimentación con muestras de 10 x 10 x 10 cm. Las muestras se realizaron en una modificación de la tapialera usada para fabricar las muestras tipo IV (ver imagen c50); esta se detalla de mejor manera en el ítem 3.5.1 de este capítulo.



Imagen c56: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Desencofrado de muestras tipo 2 de 10x10x10cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c57: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). muestra tipo 2 de 10x10x10cm con bajo contenido de humedad. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



Imagen c58: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 2 de 10x10x10cm con alto contenido de humedad. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c59: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Secado de muestras tipo 2 de 10x10x10cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### Muestra tipo III

La forma tipo III se originó de escalar una tapialera ecuatoriana de escala real ( $240 \times 40 \times 60$  cm) a la cuarta parte ( $60 \times 10 \times 25$  cm) con una ligera variación en el largo; de allí surge el molde de, con el cual fue posible fabricar las muestras de  $30 \times 10 \times 15$  cm. (ver imagen c60).

Con esta muestra (ver imágenes c61, c62, c63 y c64) se iba a realizar todo el proceso de alivianamiento, es decir la experimentación con los materiales mencionados en el ítem 3.4.1. No obstante, al momento de comenzar con el proceso de pruebas nos dimos cuenta de que las muestras tenían gran esbeltez, resultado de escalar la tapialera real; es así, que decidimos descartar inmediatamente este tipo de muestra. Finalmente decidimos crear una modificación en el ancho de este tipo; de esta manera se originaron las muestras tipo IV, detalladas a continuación.

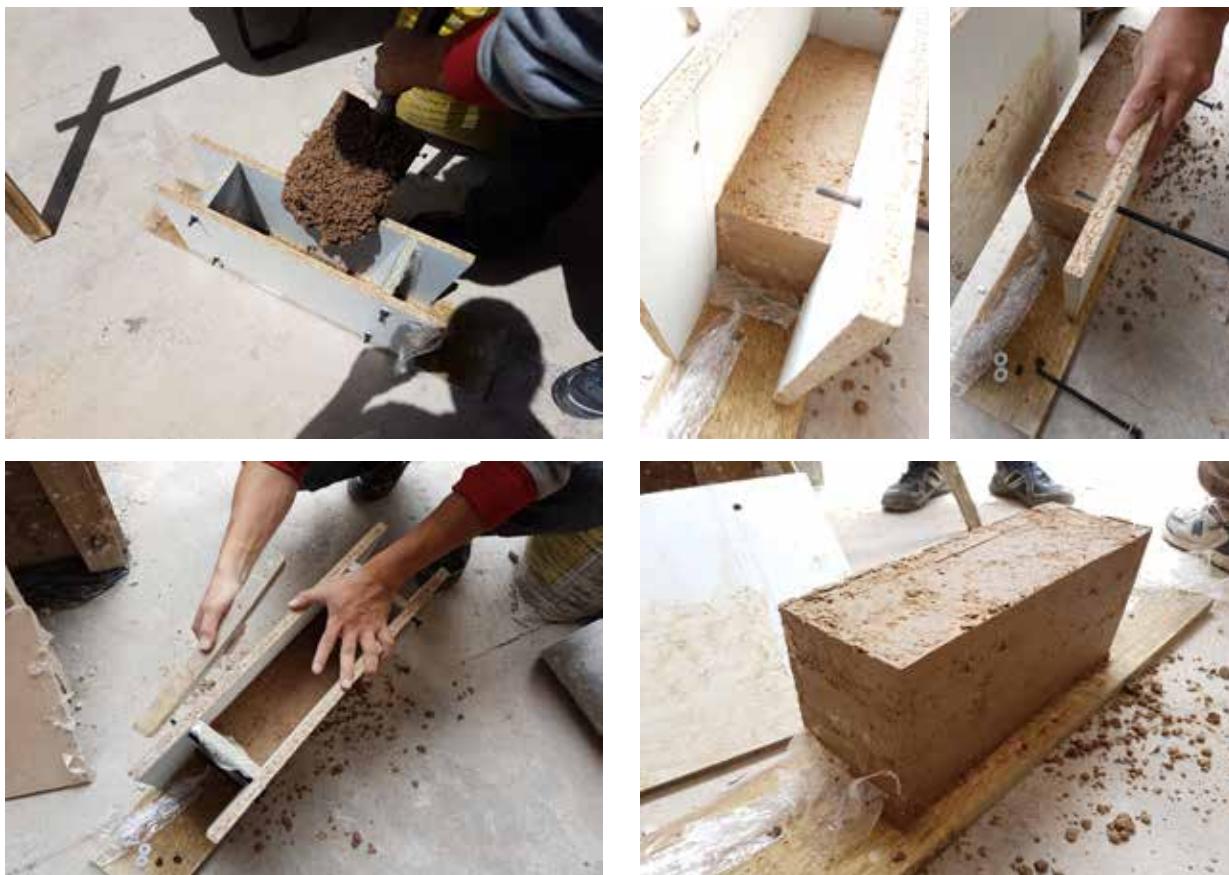


Imagen c60: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Fabricación de muestras tipo 3 de  $10 \times 30 \times 15$  cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c61: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Desencofrado de muestras tipo 3 de  $10 \times 30 \times 15$  cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c62 y c63: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Desencofrado de muestras tipo 3 de  $10 \times 30 \times 15$  cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c64: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestra tipo 3 de  $10 \times 30 \times 15$  cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



### Muestras tipo IV

Para las muestras tipo IV (ver imágenes c65 - c66) realizamos una pequeña variación y decidimos igualar el ancho por el alto, debido al problema de resultados mencionado con la muestra tipo III. Con las medidas de 30 x 15 x 15 cm experimentamos su comportamiento normal junto con sus variaciones.

Elaboramos 6 muestras para cada modelo propuesto, por lo que decidimos nombrarlas en función de sus características. En total fueron elaboradas 68 modelos tipo IV de los cuales 8 fueron usados para conocer sus propiedades de secado versus resistencia y 60 fueron destinados a ensayos mecánicos; de los cuales, 4 elementos de cada modelo ayudaron a determinar la resistencia a la compresión y 2 de cada modelo para determinar su resistencia a la flexo compresión. Los 60 prototipos fueron divididos en 9 variaciones, incluyendo PVC, EPS, Cabuya, y un aditivo SIKA, como indica la tabla resumen (ver tabla 9).



Imagen c65: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 4 de 15x30x15cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c66: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 4 con PVC de 15x30x15cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



Imagen c67: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 4 con espuma flex de 15x30x15cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c68: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 4 con espuma flex de 15x30x15cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL



Imagen c69: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 4 de 15x30x15cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



Imagen c70: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 4 cabuya mas PVC de 15x30x15cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c71: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 4 de 15x30x15cm . [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

**Tabla 9.** Resumen de muestras elaboradas

Nombre	Tapial normal	Tapial con 12 esferas	Tapial con 2 esferas	Tapial mas polígono	Tapial con perlas	Tapial con 16 esferas	Tapial con agujeros horizontales	Tapial con agujeros verticales	Tapial con agujeros horizontales mas cabuya	Tapial con Sika poro plus
Especificaciones de los materiales adicionales para cada unidad		"Utiliza 12 esferas de (EPS) distribuido en 2 capas ø = 40mm"	"Utiliza 2 esferas de (EPS) distribuido en 1 capa ø = 70mm"	"Utiliza 1 polígono de poliestireno exandido l = 170mm a = 60mm h = 80mm"	"Utiliza el 18 % de perlas (EPS) ø = 2-4mm"	"Utiliza 16 esferas de (EPS) distribuido en 2 capas ø = 40mm"	"Utiliza 2 tubos (PVC) colocados en forma horizontal l = 150mm ø = 50mm"	"Utiliza 2 tubos (PVC) colocados en forma horizontal l = 150mm ø = 50mm"	"Utiliza 2 tubos (PVC) colocados en forma horizontal l = 150mm ø = 25mm cabuya = 50g"	"Usa 5 ml del aditivo"
Materiales										
AASHTO										
SUCS										
Volumen										
Planta										
Elevación lateral										
Elevación frontal										
Axonometría										
*Humedad inicial	43%	43%	42%	45%	45%	41%	41%	39%	39%	42%
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J

Fueron realizadas 6 muestras por cada tipo propuesto.

\* la humedad es un promedio de las 6 muestras y fue calculado con la norma ASTM 2216, largo = l, ancho = a, altura = h.

Elaboración propia. (2017)

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### Muestra tipo V

Para la forma tipo V elaboramos 12 cilindros usando los moldes metálicos para hormigones sugeridos por el ASTM; el cual pide elaborar cilindros de 20 cm de altura y 10 cm (ver imagen c72 y c73). de diámetro. Estas muestras se fabricaron para determinar la relación de la resistencia a la compresión versus los días de secado.

los datos de los ensayos fueron tomados cada 7 días, hasta llegar a los 28 días; utilizando 3 muestras por cada día mencionado (ver imagen c74).



Imagen c72: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 5 en cilindro ASTM. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c73: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo a compresión de muestras tipo 5 en cilindro ASTM. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



Imagen c74: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo 5 en cilindro ASTM. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



### Muestras tipo VI

Para la forma tipo VI elaboramos un murete según lo sugerido en la actualización de la norma Peruana E. 080 año 2017 (ver imágenes c75 y c76). Dicha norma pide elaborar un murete donde la altura debe ser igual a 3 veces su ancho; por lo que decidimos fabricar muretes de 60 x 60 x 20 cm. Los mismos se utilizaron para determinar la resistencia a la compresión a los 28 días.

Estos muretes se fabricaron en una tapialera de escala real con una variación en las medidas de las tapas (ver imagen c69); esta tapialera se encuentra detallada en el ítem 3.5.1

Gracias a esta prueba pudimos comparar la variación que existe en la resistencia a la compresión dependiendo del tamaño de la muestra.



Imagen c75: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Fabricación de muestras tipo VI muretes de 20x60x60cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c76: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo VI muretes de 20x60x60cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c77: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo VI muretes de 20x60x60cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 3 CONSIDERACIONES GENERALES Y PROCESOS PARA ALIVIANAR EL TAPIAL

### Muestra tipo VII

La forma tipo VII (ver imágenes c78, c79 y c80), es un murete para determinar la resistencia a la tracción diagonal en un muro de tapial (ver imagen c81). Esta muestra de 60 x 20 x 52 cm posee una variación en la altura en comparación con la muestra tipo 6. Los muretes tipo 7 se fabricaron con este cambio debido a que la prensa de la facultad de ingeniería de la Universidad de Cuenca posee medidas limitadas para la diagonal más larga del modelo.



Imagen c78: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Desencofrado de muestras tipo 7 muretes de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c79: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Desencofrado de muestras tipo 7 muretes de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

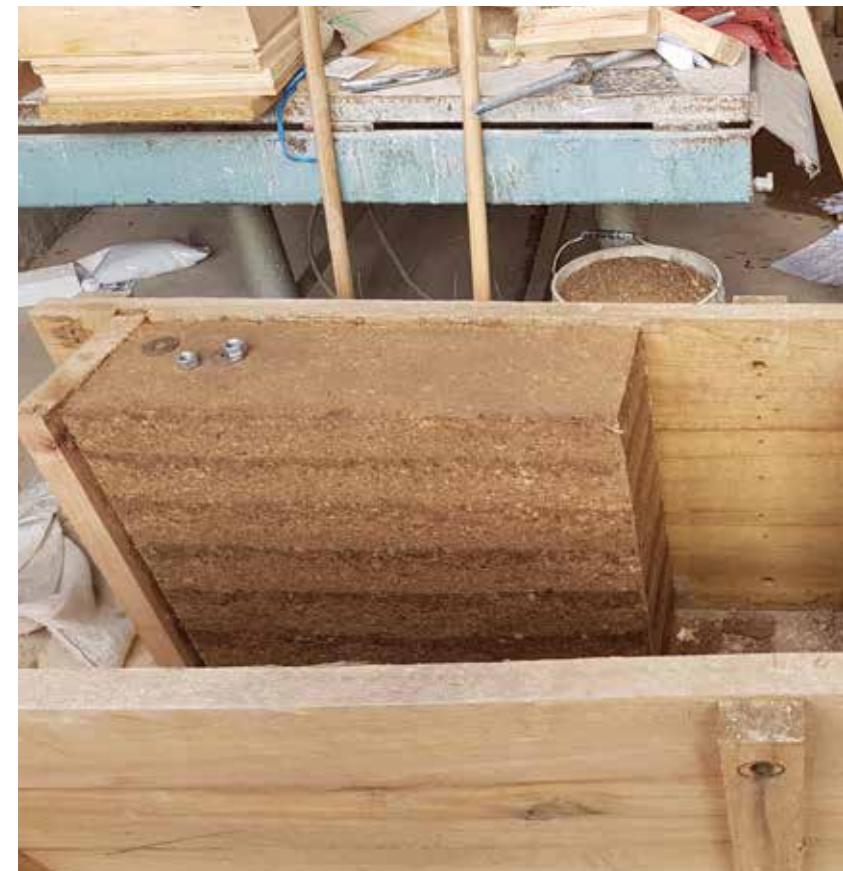


Imagen c80: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Desencofrado de muestras tipo 7 muretes de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



Imagen c81: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Prueba de tracción diagonal en muestras tipo 7 murete de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c82: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Prueba de tracción diagonal en muestras tipo 7 murete de 20x60x52cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen c83: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Murete 20x60x60cm. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

# conclusiones

## cap 3

La técnica de apisonar tierra húmeda cruda puede ser modernizada y llegar a tener grandes alcances en la automatización dentro de la construcción, ofreciendo al mismo tiempo valores únicos de confort.

El tapial posee propiedades únicas de expresión formal, que fácilmente pueden armonizar con la arquitectura contemporánea; generando un arraigo cultural y al mismo tiempo retomando la técnica ancestral actualmente en desuso.

Al momento de compactar el suelo suelto, se notó que el volumen inicial se reduce al 50% aproximadamente.

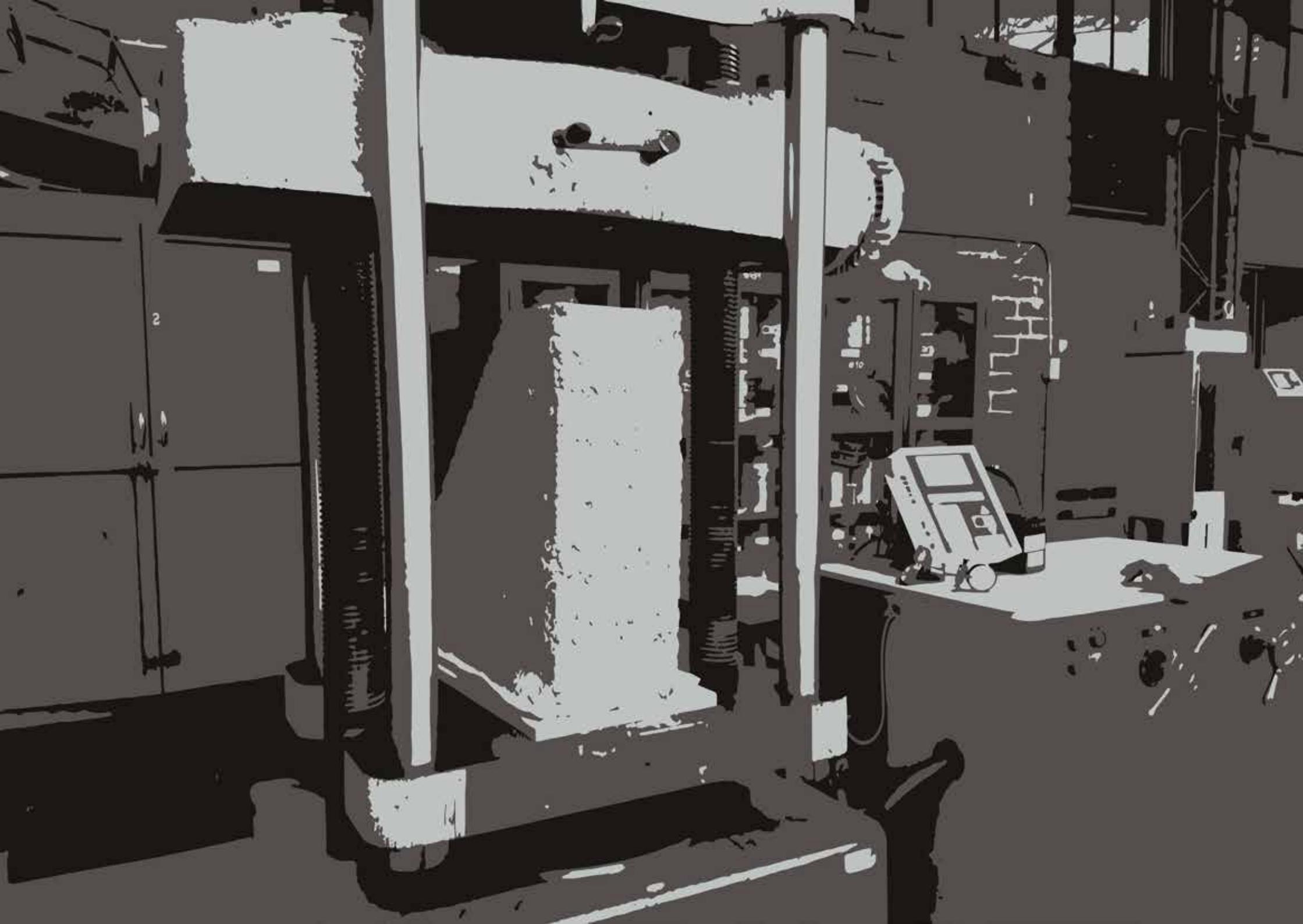
Existen ciertas limitaciones en los laboratorios para ensayar los muretes ya que los equipos solo admiten determinadas medidas en las prensas.

La forma de hacer tapial cada vez ha ido mejorando gracias a los avances tecnológicos; es decir hoy en día podemos disponer de mejores herramientas que contribuyen al desarrollo de la técnica, tales como tapialeras metálicas más resistentes y pisones neumáticos que le aportan eficiencia a la técnica de apisonar la tierra.



# CAPÍTULO 4

## METODOLOGÍA Y RESULTADOS



## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### Metodología y resultados

El proceso de investigación consta de varios puntos que cabe mencionar:

- Revisión histórica de varias obras y prácticas elaboradas por los constructores empíricos y actuales de la técnica, tratando de evidenciar particularidades en el material.
- Conocer las propiedades mecánicas y físicas de la tierra seleccionada mediante algunos test de campo y laboratorio.
- Revisión de las normas, escoger el número de muestras y tamaños sugeridas por las normativas internacionales relevantes de: Zimbabue, Nuevo México, Australia España más tres prototipos a escala, propios de la investigación para determinar su resistencia a la compresión en diferentes formas después de un secado de 28 días, usando el mismo método de elaboración y

secado de las muestras de acuerdo con las condiciones reales de construcción y secado in situ.

- Elaboración de 6 muestras de cada tipo propuesto para llegar al objetivo de la investigación, experimentando con diferentes materiales y formas para el alivianar.
- La última etapa fue elaborar 4 muretes del tapial normal sin estabilizantes para conocer las características de resistencia a la compresión como la tracción diagonal y compresión normal.

#### 4.1. Introducción a los análisis

Luego de revisar la bibliografía actual y varias publicaciones destacadas llegamos a determinar algunas de las ventajas y desventajas de usar a técnica de construir con tapial hoy en día.



Imagen d1: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras realizadas en el laboratorio. Estudio del suelo. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



#### 4.1.1. Ventajas de construir con tapial

- Es una técnica particular para lugares con altas variaciones térmicas y mantiene una temperatura constante y confortable (Houben and Guillaud, 2008) p 2 (Silva, Oliveira, Miranda, Escobar, & Cristelo, 2012)
- Buen aislante de sonido.
- Promueve un ambiente saludable y confortable. La tierra es un material que rápidamente absorbe y elimina la humedad del aire balanceando el ambiente interior produciendo un ambiente sano (Minke, 2006)
- Bajo impacto ambiental en la construcción.
- Proceso de construcción simple con herramientas accesibles y autoconstrucción.
- Excelente resistencia al fuego por ser un material ignífugo.
- Ahorro energético en climatización.

#### 4.1.2. Desventajas de construir con tapial

- Resistencia baja a la humedad.
- El peso propio de la técnica es elevado por la misma densidad de la tierra.
- Limitación en la altura de la edificación.
- Poca valoración de las personas y desuso de la técnica.

#### 4.1.3. Normativa usada para ensayos

Ecuador sugiere remitirse a la norma E.080 cuando se trata de construcción con tierra, sin embargo, para nuestro análisis requerimos de otras pruebas como: clasificación de suelos, ensayo de Proctor, densidad real de un material, entre otros. A continuación (ver tabla 10), detallamos las normas utilizadas durante el proceso de investigación.

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

**Tabla 10.** Resumen de ensayos físicos y mecánicos con sus respectivas normas

Tipo	Nombre del ensayo	Normativa nacional	Normativa internacional
Normas para analizar la tierra seleccionada o sus propiedades físicas	Ensayo Normalizado para Materiales Más Finos que Una Criba No. 200 (75 µm) en agregados Minerales Mediante Lavado		ASTM C117 – 03
	Preparación de la muestra	NTE INEN 688	
	Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masa	NTE INEN 862	ASTM 2216
	Granulometría	NTE INEN 0697	ASTM D-422-63 / AASHTO T 88
	Límite líquido	NTE INEN 0691	ASTM D4318 / AASHTO T 89
	Límite plástico	NTE INEN 0692	ASTM D4318 / AASHTO T 90
	Densidad de sólidos	INEN 156	ASTM C 188-95 / Le Chatelier
	Contenido de materia orgánica (ignición)		AASHTO T-267-86
	Ensayo de Proctor Estándar		ASTM D698
	Resistencia a la compresión adobe	E. 080 (Perú)	
Normas para analizar las propiedades mecánicas	Resistencia a la flexión adobe	NTE INEN 2554	
	Resistencia a la compresión murete	E. 080 (Perú)	
	Resistencia a tracción indirecta murete	E. 080 (Perú)	

Elaboración propia. (2017)



## 4.2. Análisis de la tierra seleccionada

Para entender apropiadamente la tierra seleccionada es necesario seguir las especificaciones de expertos en el tema. En este caso es necesario acudir a un estudio de las técnicas ancestrales para poder confrontar los resultados con los estudios de laboratorio. Según los ensayos realizados en el proceso de investigación (descritos en el capítulo 2), la tierra de Paute es apta para construir muros de tapial. Es decir que los resultados de los ensayos realizados, evidencian un mayor porcentaje de arena frente al de arcilla; por lo que se puede decir que el material a pasado la primera prueba.

Para la etapa de ensayos de laboratorio empezamos utilizando las normas mundialmente aceptadas para clasificar los suelos. Normas como; AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

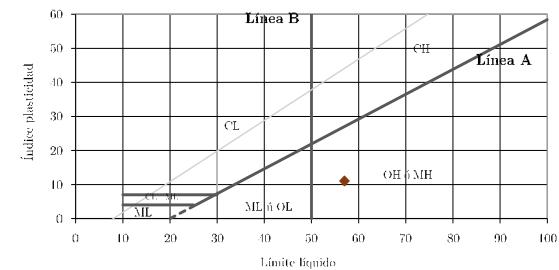
o a su vez en español “Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte” y SUCS o USCS (United Soil Classification System) “Sistema unificado de clasificación de suelos”; utilizan procesos similares, no obstante, los resultados tienen ciertas variaciones por lo que a continuación exponemos los resultados de cada uno.

### 4.2.1. Clasificación de la muestra según AASHTO y SUCS

#### Límites de Atterberg

Según lo descrito en el capítulo 2 los límites de Atterberg son los términos en los cuales el material se comporta de una manera u otra. A continuación (ver gráfico 1 y tabla 11) se muestran los resultados de las muestras ensayadas.

**Gráfico 1.** Límites de Atterberg- Muestra de Paute



Elaboración propia. (2017)

**Tabla 11.** Resultados de ensayos de límites de Atterberg

Nombre	Datos	
Límite Líquido	LL	57.00
Límite Plástico	LP	46.00
Indice de Plasticidad	IP	11.00

Elaboración propia. (2017)

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

**Tabla 12.** Cuadro resumen del ensayo de granulometría (promedio de 3 ensayos)

### Curva granulométrica

Para la clasificación del suelo realizamos un tamizado del suelo (ver imagen d2); luego de dicha prueba obtuvimos los porcentajes retenidos en cada tamiz (ver tabla 12). Posterior a esto, ya con los resultados obtenidos en el laboratorio, graficamos estos valores y obtuvimos la curva granulométrica (ver gráfico 2). Esta curva nos ayuda a determinar el tipo de suelo con el que se está trabajando; en este caso, nuestra muestra analizada posee una clasificación A 2-7. Según AASHTO este suelo está dentro de las gravas y arenas limosas y arcillosas y lo clasifica como un suelo de Excelente a bueno.

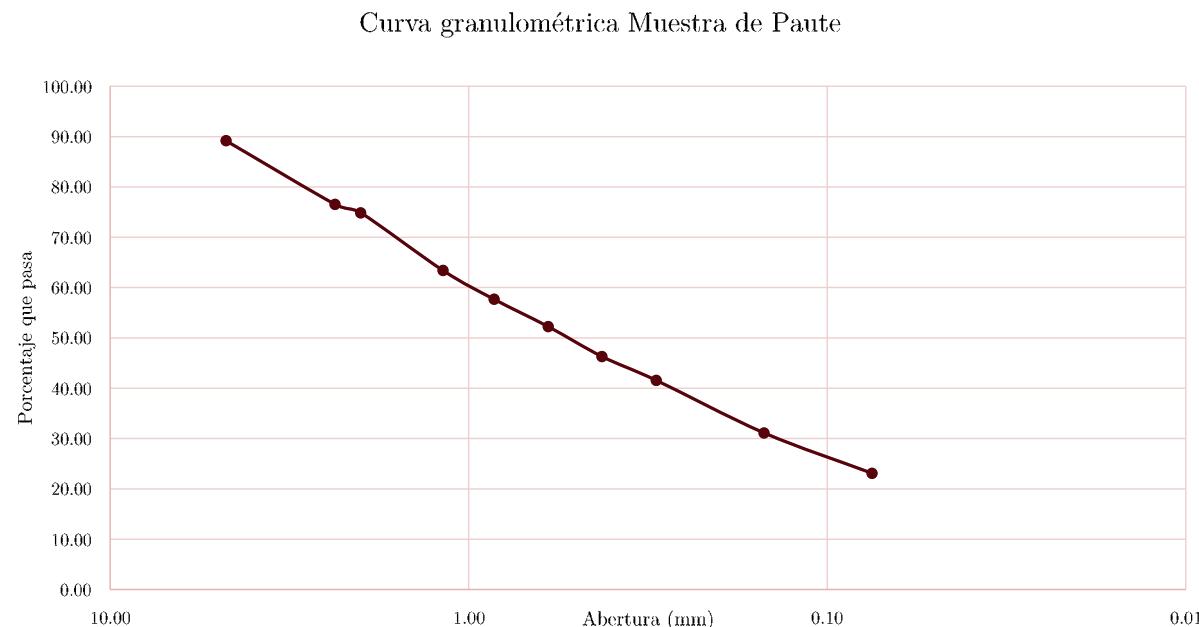
Nº de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido*	Retenido %	Acumulado %	Pasa %
4	4.75	54.18	10.84	10.84	89.16
8	2.36	63.09	12.62	23.46	76.54
10	2	8.48	1.7	25.15	74.85
16	1.18	57.29	11.46	36.61	63.39
20	0.85	28.62	5.72	42.33	57.67
30	0.6	27.24	5.45	47.78	52.22
40	0.43	29.67	5.93	53.72	46.28
50	0.3	23.67	4.73	58.45	41.55
100	0.15	52.26	10.45	68.9	31.1
200	0.08	40.11	8.02	76.92	23.08
Base	<	115.38	23.08	100	
total		500	100		

Nota: N° Tamiz: según ASTM; \* = unidades en gramos los resultados son el promedio de e ensayos

\* Para entender mejor estos datos revisar el anexo 9 sobre los resultados y la clasificación de la muestra seleccionada en función de los resultados obtenidos en el laboratorio.



**Gráfico 2.** Curva granulométrica muestra de paute



Elaboración propia. (2017)

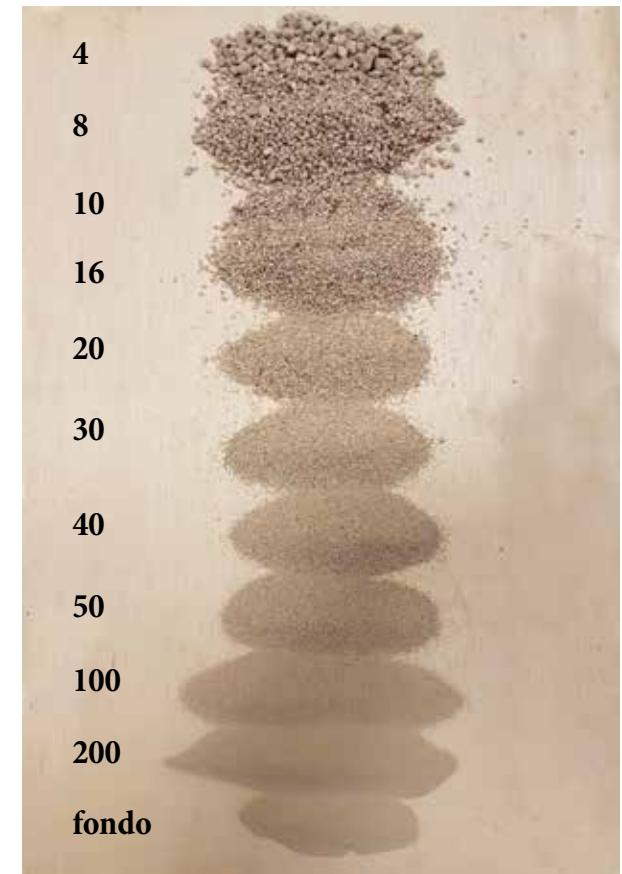


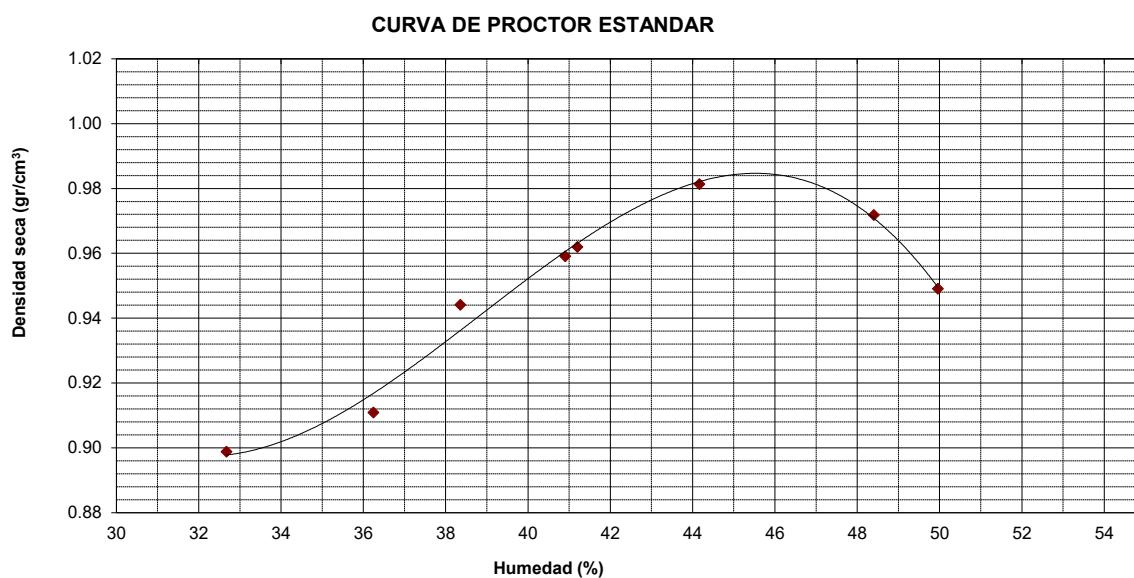
Imagen d2: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ensayo de granulometría. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### 4.2.2. Resultado del ensayo de proctor estándar

Como lo descrito anteriormente, mediante el ensayo de proctor estándar es posible determinar el grado máximo de compactación y saturación que puede llegar a tener un suelo. En nuestro caso utilizamos el ensayo estándar; dicho ensayo utiliza poca energía, y una cantidad menor de golpes, pero suficiente para poder probar nuestro suelo. Para poder realizar la curva de compactación realizamos 8 pruebas (ver tabla 13) con el fin de obtener los resultados más acertados (ver gráfico 3)

**Gráfico 3.** Diagrama de densidad seca vs humedad



Elaboración propia. (2017)

**Tabla 13.** Cuadro resumen para los datos del ensayo para el ensayo de Proctor estándar

Prueba N°	Compactación							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de capas	3	3	3	3	3	3	3	3
Número de golpes	25	25	25	25	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5 320.10	5 351.60	5 414.20	5 477.10	5 470.10	5 515.60	5 538.70	5540.7
Peso molde (gr.)	4 194.50	4 180.10	4 181.20	4 194.90	4 194.40	4 180.20	4 195.20	4179.4
Peso suelo compactado (gr.)	1 125.60	1 171.50	1 233.00	1 282.20	1 275.70	1 335.40	1 343.50	1361.3
Volumen del molde (cm3)	943.96	943.96	943.96	943.96	943.96	943.96	943.96	943.96
Densidad húmeda (gr/cm3)	1.19	1.24	1.31	1.36	1.35	1.41	1.42	1.44
Humedad (%)								
Tara N°	1	2	3	4	5	6	7	8
Tara + suelo húmedo (gr.)	50.14	89.62	49.93	52.12	51.44	85.49	100.73	101.05
Tara + suelo seco (gr.)	39.88	78	38.37	39.3	39	72.48	82.65	84.87
Peso de agua (gr.)	10.26	11.62	11.56	12.82	12.44	13	18.08	16.18
Peso de tara (gr.)	8.48	45.95	8.23	8.2	8.59	43.04	46.47	51.44
Peso de suelo seco (gr.)	31.4	32.05	30.14	31.1	30.41	29.44	36.18	33.43
Humedad (%)	32.7	36.2	38.4	41.2	40.9	44.2	50	48.4
Densidad Seca (gr/cm3)	0.899	0.911	0.944	0.962	0.959	0.981	0.949	0.972

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### 4.2.3. Resultado del ensayo de densidad

La densidad real de cada material depende de la compacidad de sus partículas, en nuestra investigación pudimos determinar este factor mediante el proceso sugerido en la norma INEN 156 y la ASTM C 188. Según los resultados indicados a continuación (ver tabla 14); el suelo estudiado tiene una densidad de 2.38 g/cm<sup>3</sup> la cual se encuentra dentro de los límites establecidos para fabricar muros de tierra apisonada. Dichos resultados fueron calculados usando la siguiente fórmula.

$$D_{real} = \frac{P_2 - P_1}{L_2 - L_1}$$

Donde:

Dreal= Densidad real, (gr/cm<sup>3</sup>)

P2= Lectura inicial del reactivo (entre 0 y -1cm<sup>3</sup>), del cuello interior (gr)

P1= Peso del recipiente con el reactivo (gr)

L2= Lectura final del reactivo + cemento (cm<sup>3</sup>)

L1= Peso final del reactivo + cemento (cm<sup>3</sup>)

### 4.2.4. Resultado del ensayo de ignición

Para poder determinar la cantidad de materia orgánica en la muestra existen varios métodos propuestos por el ASTM o por AASHTO que sugieren tomar una muestra representativa y someterla a calor. Para el ensayo fue necesario seguir la norma ASSTHO T 267-86 (ver el anexo 20).

Los resultados obtenidos fueron de 2 muestras de 100 gramos secada a 105 °C para luego ingresar a un horno de mayor temperatura cerca de los 500 °C. luego de los cálculos, los resultados obtenidos fueron del 5.23% y 5.13%. Según normas como: SASZ 724 2001 (Zimbabwe), NMAC 14.7.4 (Estados Unidos), NZS 4298 1999 (Nueva Zelanda), Lehmbau Regeln 1999 (Alemania), entre otros; dichos resultados demuestran que la tierra tomada, posee un contenido de materia orgánica medio a bajo. Debido a las limitaciones en

cuanto a equipos, esta prueba fue realizada en el laboratorio de sanitaria de la facultad de ingeniería de la Universidad de Cuenca (ver anexo 11). Finalmente se puede decir que visualmente no se pudo detectar materia orgánica en la muestra.

**Tabla 14.** Cuadro de resultados del ensayo de densidad

Muestra	P2 – P1	L2 – l1	Dreal
a	55.65	23.3	2.39
b	55.5	23.5	2.36
c	55.75	23.35	2.39

Elaboración propia. (2017)



**Tabla 15.** Cuadro resumen de los tamaños, número de muestras y resistencia a la compresión, según la norma: MOPT, NMAC y los modelos propuestos en Ecuador

#### 4.3. Resultados del tapial estudiado frente a normas internacionales

Las normas aplicadas fueron en base a documentos revisados. Cabe mencionar que, la norma E.080 se publicó en abril de 2017. En la siguiente tabla (ver tabla 15) resumiremos una comparación entre los códigos estudiados más 3 modelos propuestos en nuestra investigación, a su vez, el número de muestras, medidas y la resistencia alcanzada luego de 28 días de secado.

Para este documento seleccionamos las normas con tapial sin estabilizar para conservar la idea de conocer la técnica ancestral practicada en la localidad, es decir, sin estabilizantes; pero existen normas importantes que admiten ensayos y construcciones en tapial únicamente estabilizado con cemento, como es el caso de la norma brasileña para “muros portantes con tapia estabilizada

Año	País	Nombre	(kg/cm <sup>2</sup> )	Detalles de la muestra (mm)					Nº de muestras	Resistencia a la compresión (Mpa)
				Cilindro		Polígono				
				D	h	l	a	h		
1992	España	MOPT	6.12-18.35	n/a	n/a	50	50	50	6	1.64
		2015 NEW MEXICO								
2004	Estados Unidos	EARTHEN BUILDING MATERIALS CODE	21.09	n/a	n/a	102 (4")	102 (4")	102 (4")	4	1.85
		Forma III	-	-	-	20	15	10	4	1.04
		Forma IV	-	-	-	30	15	15	4	1.81
	Ecuador	Forma V	-	10	20	-	-	-	4	0.95

“Nota: D: Diámetro del cilindro

h: altura

l: largo

a: ancho

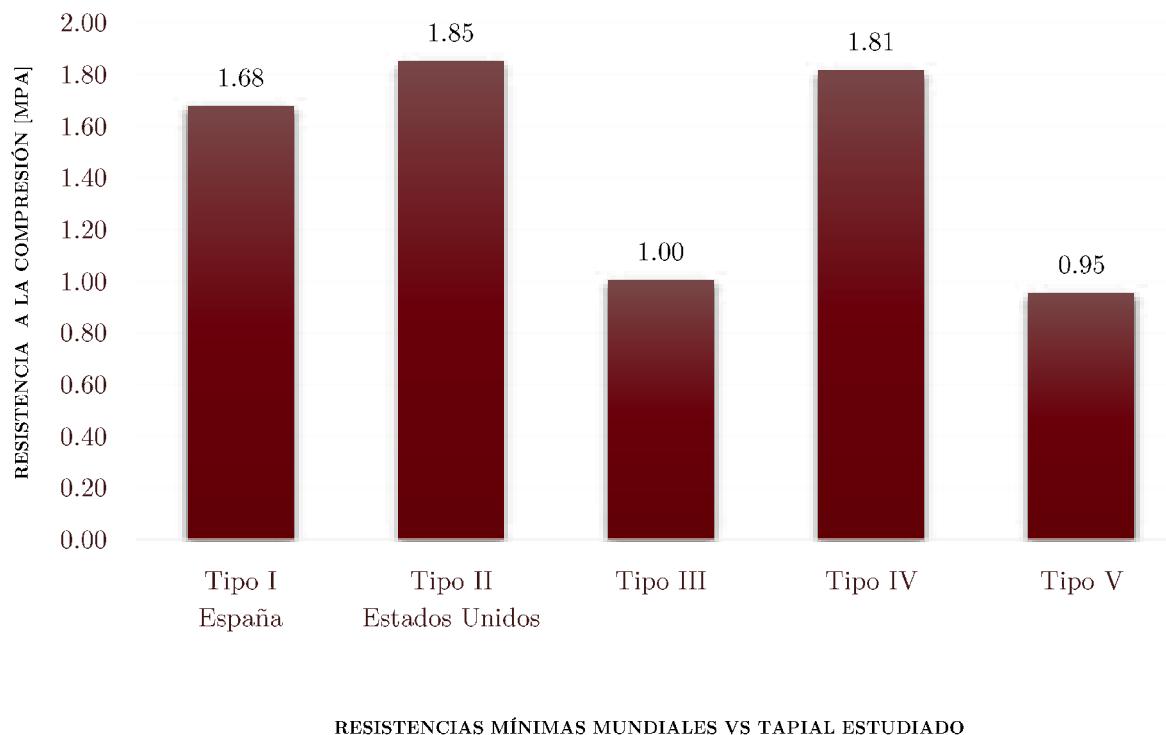
n/a: no disponible”

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

con cemento". De las normas estudiadas de España y Estados Unidos y con diferentes tamaños especificados en la tabla 15; los resultados que hemos obtenido son similares y estos a su vez se asemejan a los del modelo IV (ver gráfico 4) llegando a la conclusión que el modelo propuesto puede ser utilizado para ensayos a compresión.

En nuestra investigación comparamos los resultados obtenidos con las exigencias mínimas a nivel mundial; algunas de las resistencias descritas en las siguientes tabla y gráfico (ver tabla 16 y gráfico 5) fueron transformadas a las unidades del sistema internacional para medir la resistencia a la compresión [Mpa], muchas de ellas sugieren realizar las pruebas a los 28 días y algunas como el caso de Estados Unidos después de los 7 días. Las muestras fueron compactadas en 4 capas del mismo tamaño y con una fuerza de compactación igual, capa por capa.

**Gráfico 4.** Comparación de las normas estudiadas y resistencia a la compresión alcanzada en los tapiales tipo I, II, III, IV y V



Elaboración propia. (2017)



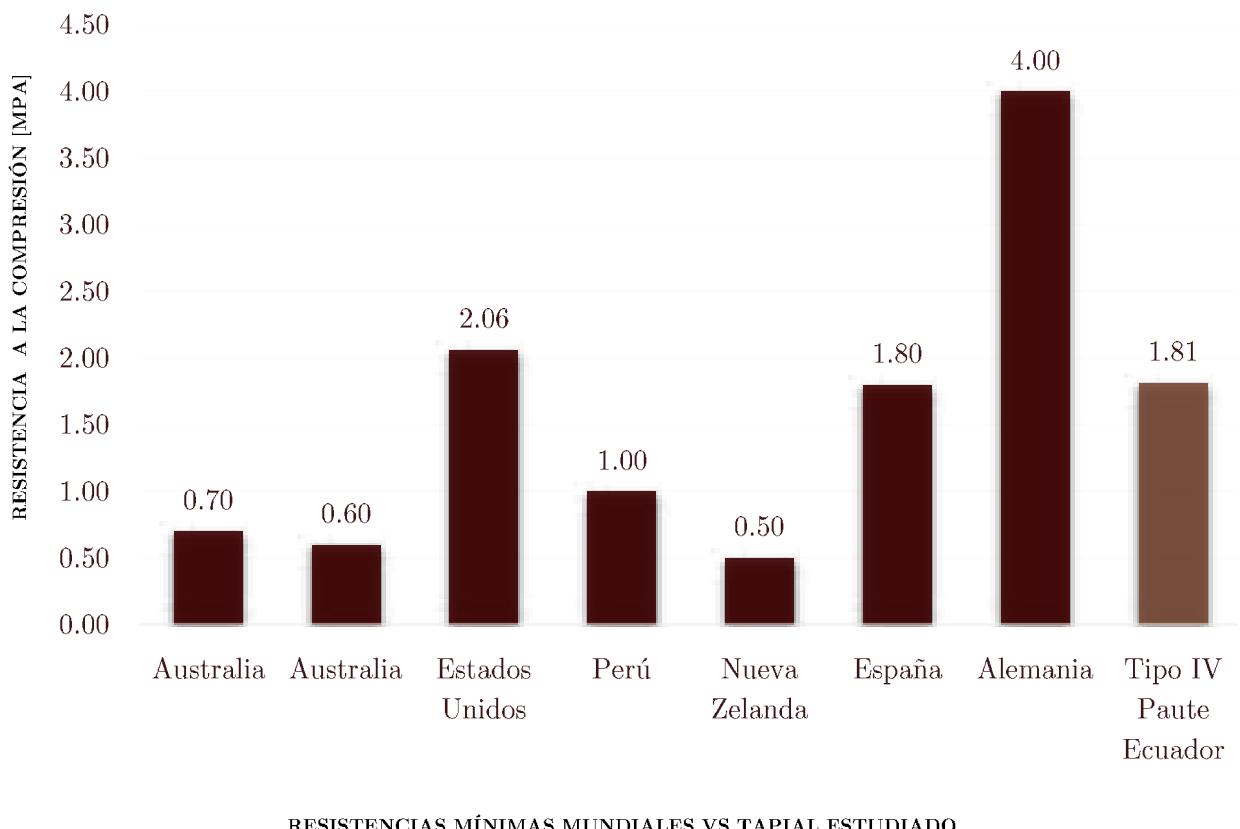
En resumen, la tierra de Paute experimentada en el modelo propuesto de 15 x 15 x 30 cm, se encuentra dentro de la mayoría de las normas mundiales respecto a las resistencias mínimas sugeridas. Por otro lado, algunas normas varían radicalmente su valor mínimo de resistencia a la compresión, como por ejemplo el caso de la norma de Alemania; que sugiere un valor mínimo de 4 Mpa frente a la norma de Nueva Zelanda que pide un valor mínimo de 0.5 Mpa.

**Tabla 16.** Comparación de las resistencias mínimas mundiales con el tapial estudiado

País	Norma o Autor	Resistencia (Mpa)
Australia	G. F. Midletown	0.7
Australia	AUSTRALIA	0.6
Estados Unidos	NMAC, 14.7.4	2.06
Perú	E.080 (actualización)	1
Nueva Zelanda	NZS 4298	0.5
España	MOPT	1.8
Alemania	Lehmbau Regeln	4
Tapial estudiado	Cárdenas - Sarmiento	1.81

Elaboración propia. (2017)

**Gráfico 5.** Comparación de la resistencia mínima a compresión según las normas mundiales y el tapial estudiado forma IV



Elaboración propia. (2017)

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### 4.4. Resultados de los modelos estudiados

La forma tipo IV es el modelo que utilizamos como base para estudiar el comportamiento de cada modelo ensayado en el intento de alivianar, partiendo del comportamiento del tapial normal sin estabilizar.

En esta parte mostramos los resultados de varios experimentos que fueron surgiendo durante el proceso de la investigación. Es decir que además del intento de alivianar el material realizamos varias pruebas como: la influencia de la humedad inicial en la resistencia, variación de peso de las muestras, tendencia de secado, perdida de humedad y resistencia a la compresión en función del tiempo de secado.

Los experimentos antes mencionados nos sirvieron para conocer el comportamiento del tapial sin estabilizar y aprender más sobre

la técnica con el cual estábamos trabajando; entre los aspectos que esperamos conocer fue la tendencia de secado, simulando las condiciones de construcción in situ, la variación de la resistencia, su resistencia a la flexión y el peso en cada etapa. También intentamos determinar; la tendencia de secado frente a la resistencia en las formas IV y V.

#### 4.4.1. Influencia de la humedad inicial en la resistencia final

El tapial es la técnica en tierra que menos agua inicial sugiere y para entender su funcionamiento relacionamos dicha hipótesis con la teoría del ensayo de Proctor. Durante el proceso de investigación surgió una duda debido a la variación de resistencia en las muestras realizadas; en este punto decidimos hacer un estudio de la humedad versus la resistencia. Es decir que según nuestra teoría la humedad tiene mucho que ver con la resistencia

del tapial. Para dicho estudio, utilizamos la forma tipo II medidas sugeridas por la normas NMAC de Estados Unidos, probando la tierra de Paute antes estudiada en la sección 4.2 del documento, con 4 muestras para cada variación de humedad. Es así que decidimos fabricar muestras de 10x10x10cm aumentando simultáneamente la humedad. (ver imágenes d3 - d6, ver anexo 2.5).

Posteriormente estas muestras fueron sometidas a ensayos de compresión a los 28 días de secado con el fin de comprobar nuestra teoría. A continuación se muestra un gráfico donde podemos observar que la resistencia mayor se alcanza con una humedad del 45% +/- (ver gráfico 6). Con estos resultados se puede decir que la humedad es un factor fundamental en la resistencia final del tapial. Como podemos notar las muestras que están cerca del punto “Máximo contenido de humedad” (OMC), determinado en el ensayo de Proctor; son las



Imagen d3: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Tierra con diferente porcentaje de humedad para la fabricación de muestras tipo II. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



Imagen d4: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Tierra con con porcentaje de humedad mínimo. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen d5: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Tierra con con porcentaje de humedad máximo. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



Imagen d6: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo II fabricadas con un porcentaje de humedad diferente. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

que mayor resistencia a la compresión han obtenido, mientras que aquellas muestras que poseen muy poca humedad o excesiva tienden a bajar radicalmente su resistencia a la compresión luego de los 28 días.

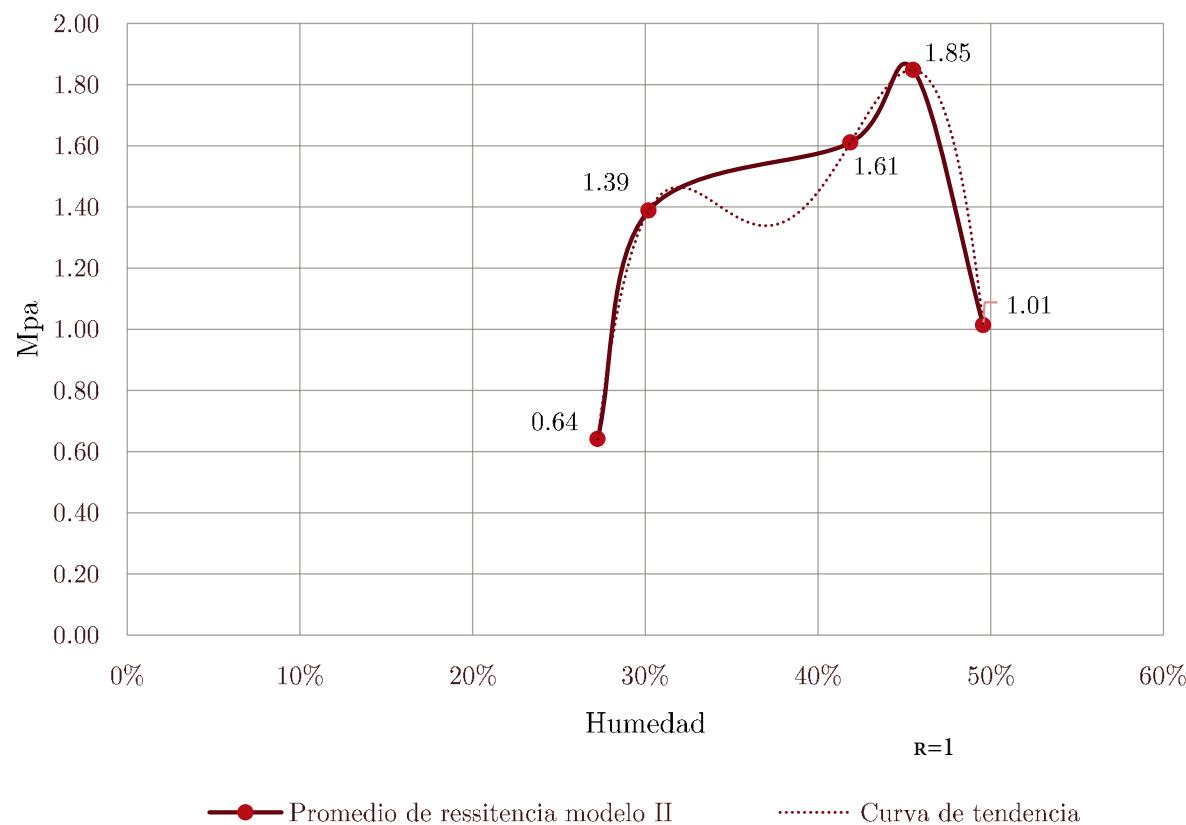
En tanto a la curva de tendencia para la muestra estudiada con la forma tipo II; la norma NMAC de Estados Unidos sugiere el uso de la siguiente ecuación:

$$y = -13525x^4 + 20630x^3 - 11674x^2 + 2906.5x - 267.36$$

### 4.4.2. Tendencia de secado del tapial

Con el fin de obtener el coeficiente perdida de humedad en las muestras realizadas; experimentamos con 6 muestras del tipo IV modelo A.

**Gráfico 6.** Diagrama de resistencia a la compresión versus humedad del modelo tipo II

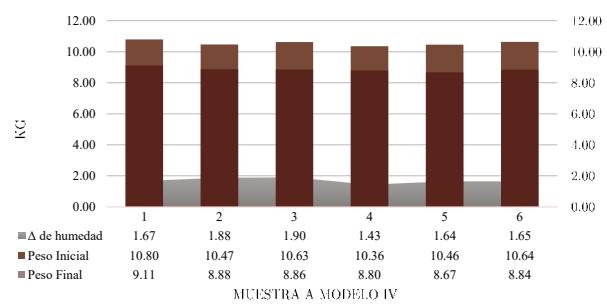


Elaboración propia. (2017)



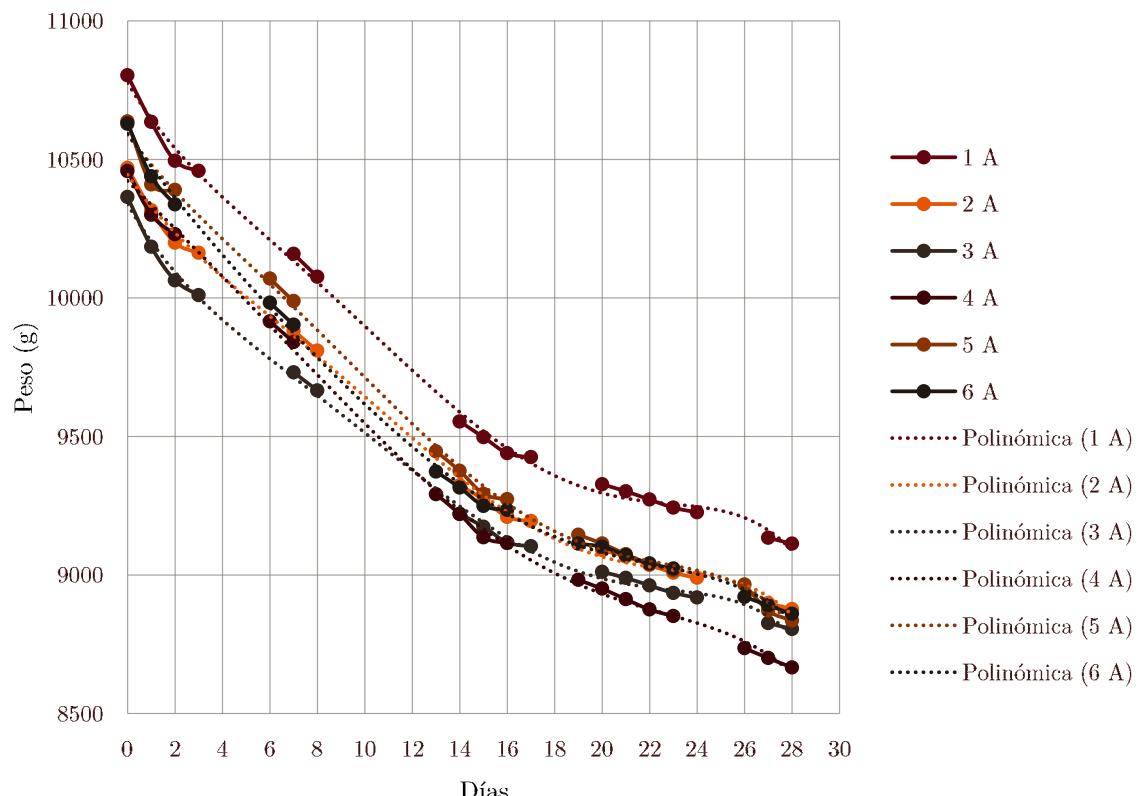
Para obtener los resultados fuimos tomando día a día los datos de la variación de humedad. En los anexos 8 y 8.1 se encuentran detallados los datos de cada una de las muestras ensayadas. Adelante (ver gráficos 7 y 8) mostraremos los resultados y curvas de tendencia alcanzados.

**Gráfico 7.** Variación de humedad en la muestra IV modelo A después de 28 días



Elaboración propia. (2017)

**Gráfico 8.** Variación de humedad para: el tipo IV; modelo A; muestra 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Incluida la curva de tendencia polinómica de la muestra de Paute



Elaboración propia. (2017)

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

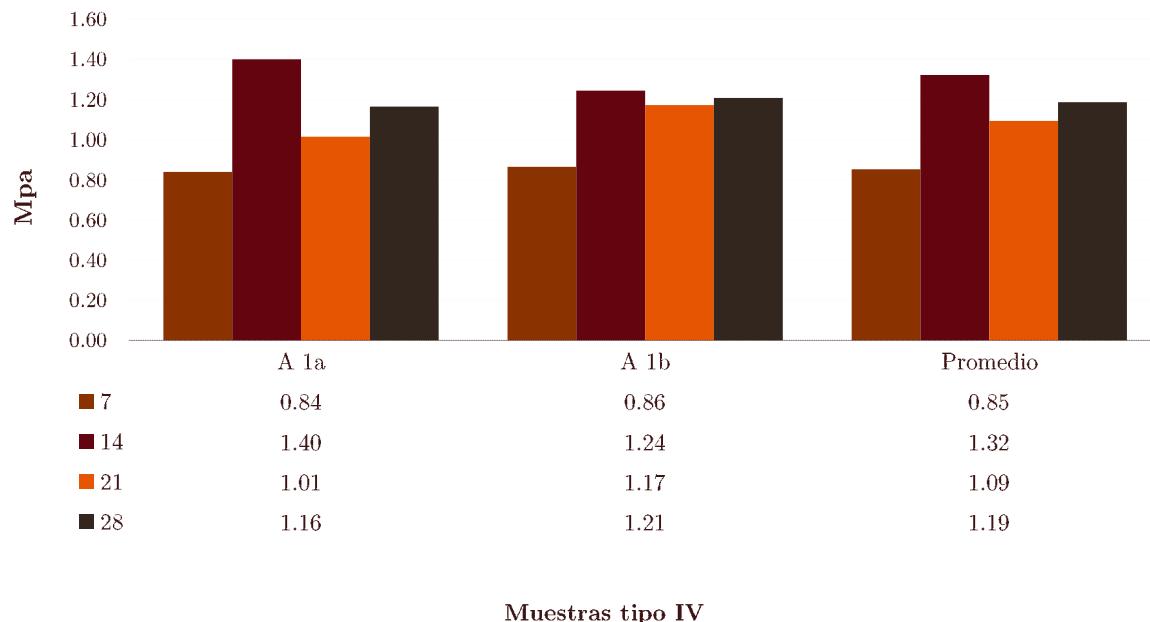
### 4.4.2.1. Variación de humedad y resistencia a la compresión

Otra duda que surgió durante el proceso de investigación fue la resistencia del material frente al tiempo de secado de las muestras. Para entender mejor el comportamiento de las muestras y como varia la resistencia a la compresión en función del tiempo de secado, fue posible elaborar varias muestras que fueron sometidos a los ensayos cada: 7, 14, 21 y 28 días. Para dicha prueba utilizamos las muestras tipo IV modelo A ( $30 \times 15 \times 15\text{cm}$ ) y la muestra tipo V (cilindro  $d=10\text{cm}$   $h=15\text{cm}$ ) descritos en la sección 3.4.3 y 3.4.4 del documento (ver imagen d7).

### Análisis de las muestra tipo IV y V

Los datos obtenidos de las muestras tipo IV modelo A, son el promedio de 8 modelos ensayados; de los cuales se utilizaron 2 muestras

**Gráfico 9.** Resultados de resistencia a la compresión modelo tipo IV y su variación a los 7, 14, 21 y 28 días



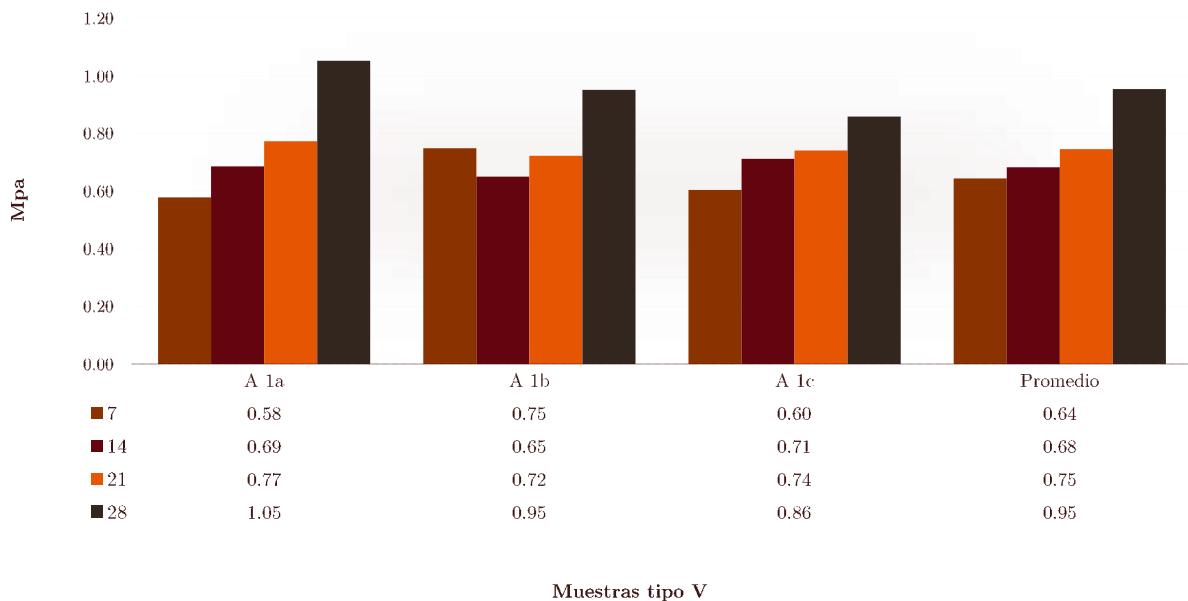


para cada día (ver gráfico 9). Por otro lado probamos también utilizando las muestras tipo V; las muestras ensayadas en este caso fueron 12, de la misma manera 3 para cada día (ver gráfico 10).



Imagen d7: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestras tipo IV modelo A y Tipo V. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

**Gráfico 10.** Resultados de resistencia a la compresión modelo tipo V y su variación a los 7, 14, 21 y 28 días



Elaboración propia. (2017)

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### Comparación de la muestra tipo IV y V

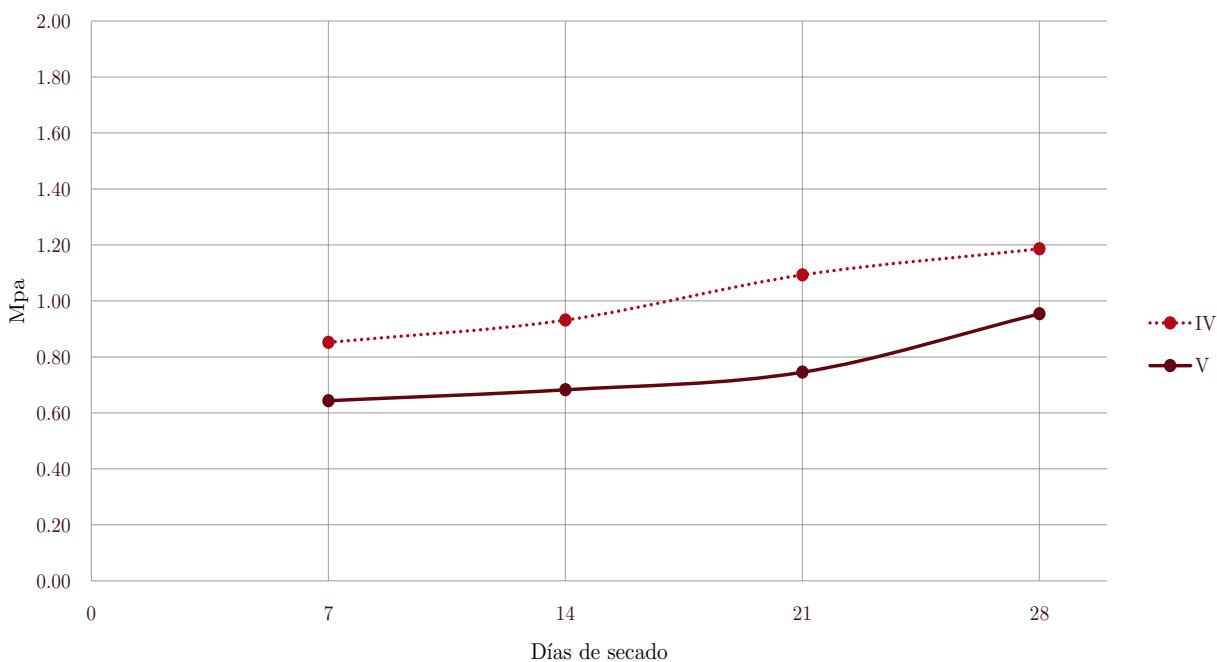
Una vez obtenidos los datos pudimos comparar los resultados obtenidos en cada caso mediante una curva; indicando así la resistencia obtenida en función de los días de secado: 7, 14, 21 y 28 días. (ver gráfico 11) (ver imagen d8)

Se puede observar en gráfico, que la resistencia a la compresión tiende a incrementar en función de los días de secado llegando a tener



Imagen d8: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Ruptura de muestras a los 28 días de secado. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Gráfico 11. Comparación de comportamiento de las muestras IV y V



Elaboración propia. (2017)



el valor más alto a los 28 días. Según estudios realizados el tapial puede incrementar aún más su resistencia a más días de secado, no obstante, por razones de tiempo pudimos alcanzar únicamente el límite de los 28 días para nuestra investigación.

#### 4.4.3. Análisis de las muestras alivianadas

Las propuestas de alivianamiento del tapial sin estabilizar están detalladas en la tabla 8 partiendo como base de la forma IV de 30x15x15cm (ver imágenes d9 y d10). De los 10 modelos, únicamente los del tipo IV modelo A están enfocados al estudio del tapial normal sin estabilizar, mientras que los 9 modelos restantes son varias propuestas con diferentes tipos de materiales y formas con la finalidad de reducir su peso.

Los diez modelos estudiados tipo IV fueron comparados entre sí, tomando como referencia

el modelo original de tapial sin estabilizar (tipo IV modelo A). En la siguiente parte de la investigación iremos mostrando los resultados y comparándolos entre ellos.

Imagen d9: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Fabricación de muestras tipo IV modelo A. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen d10: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Fabricación de muestras tipo IV modelo A. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

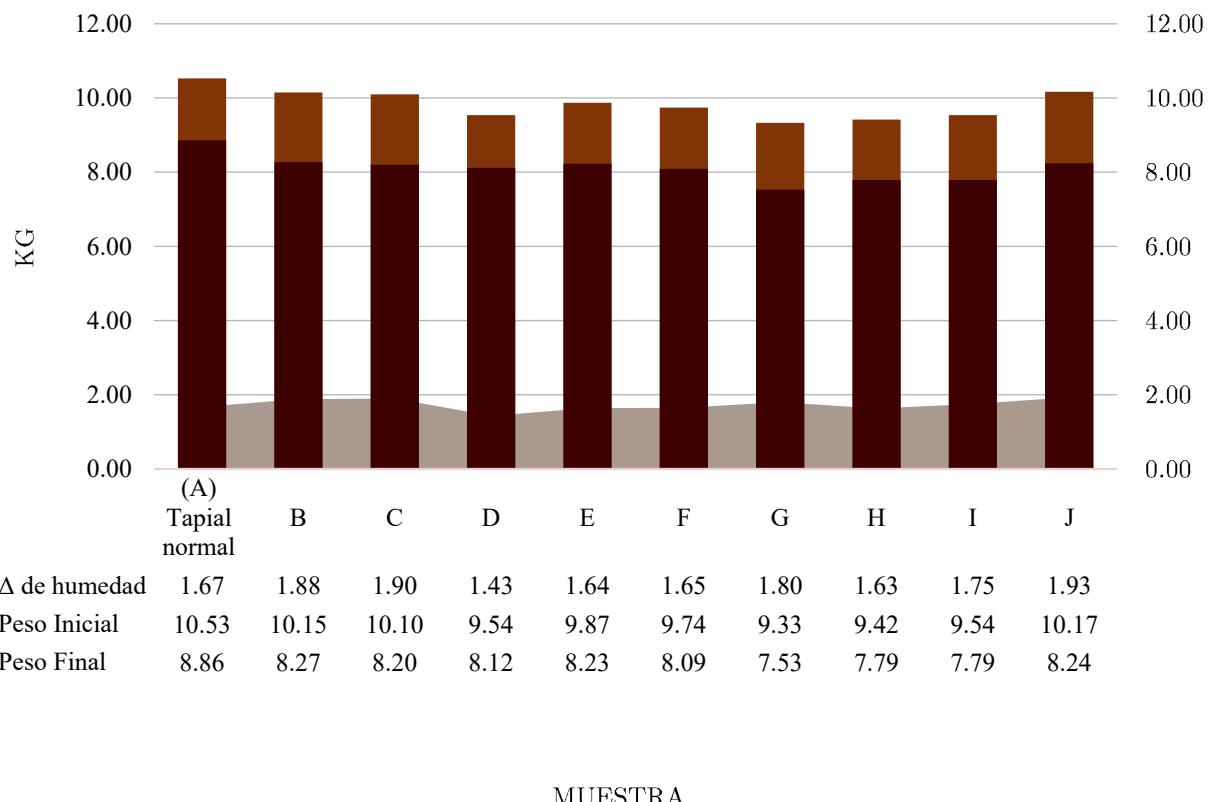
### 4.4.3.1. Variación de humedad

En este caso (ver gráfico 12) vemos reflejado el peso inicial y el final de todas las muestras tipo IV realizadas. Desde el día N° 1 hasta el N° 28, donde las muestras eran sometidas a los ensayos de compresión y tracción. El estudio se realizó con el objetivo de llevar un control de la pérdida de humedad de las muestras realizadas y saber el porcentaje de humedad de las muestras.



Imagen d11: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Registro del peso de las muestras [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

**Gráfico 12.** Variación de humedad en las muestras Tipo IV.



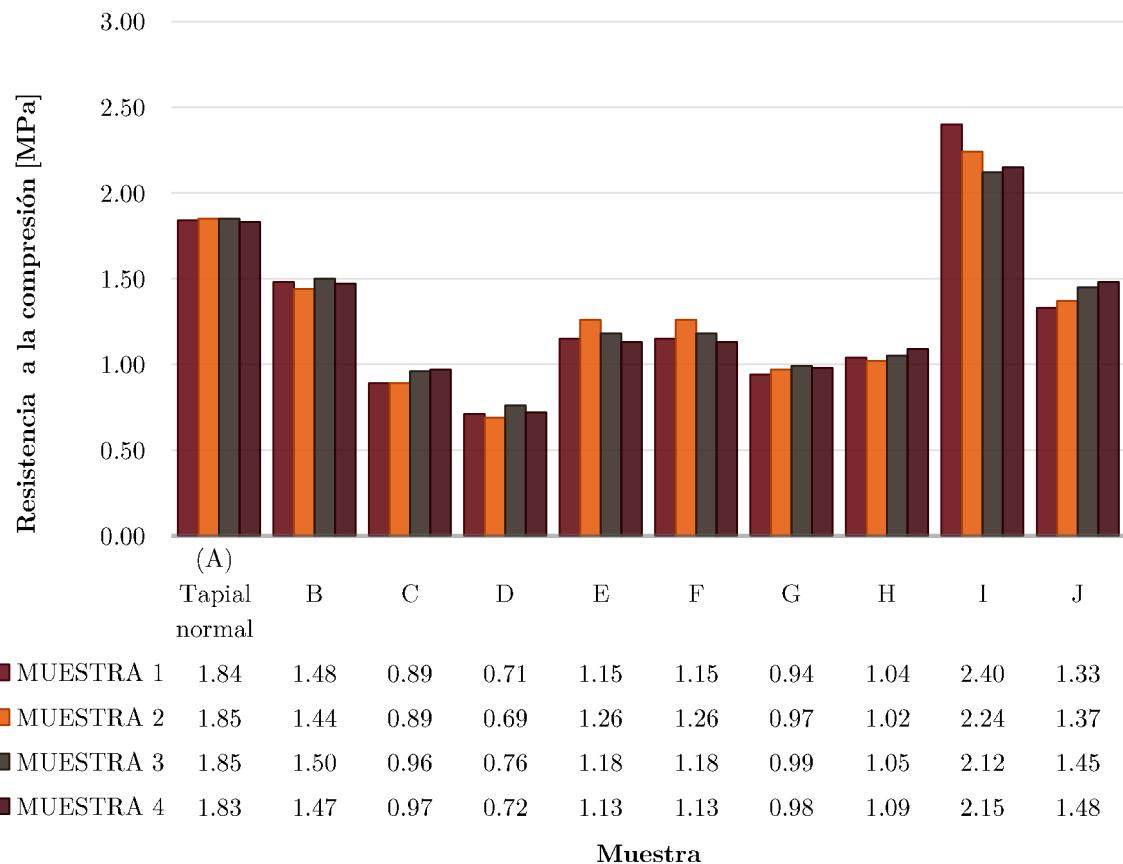
Nota: Los resultados de la gráfica son de un promedio de 6 muestras.

Elaboración propia. (2017)

**Gráfico 13.** Variación de resistencia a la compresión de la muestra tipo IV modelos A-J

#### 4.4.3.2. Resistencia a la compresión

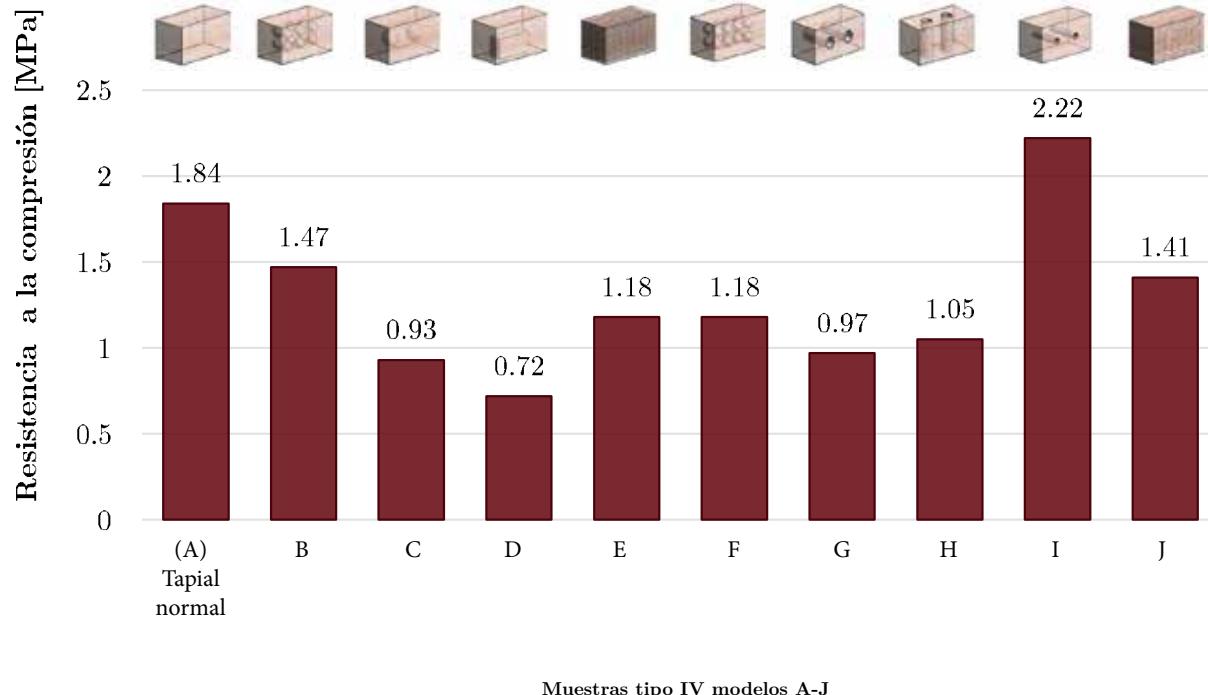
A continuación (ver gráficos 13 y 14) vemos los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión en las muestras tipo IV. Las muestras ensayadas de cada modelo (A-J) para el ensayo de compresión fueron cuatro; ya que mientras más muestras se ensayan, mayor validez tiene los resultados. Podemos observar que el modelo I alcanzo la mayor resistencia (aproximadamente 2.4MPa). Modelo realizado con cabuya más PVC



Elaboración propia. (2017)

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

**Gráfico 14.** Promedio de la variación de resistencia a la compresión de muestras Tipo IV



Elaboración propia. (2017)



Imagen d12: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Fabricación de muestras tipo IV modelo A. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen d13: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Fabricación de muestras tipo IV modelo A. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

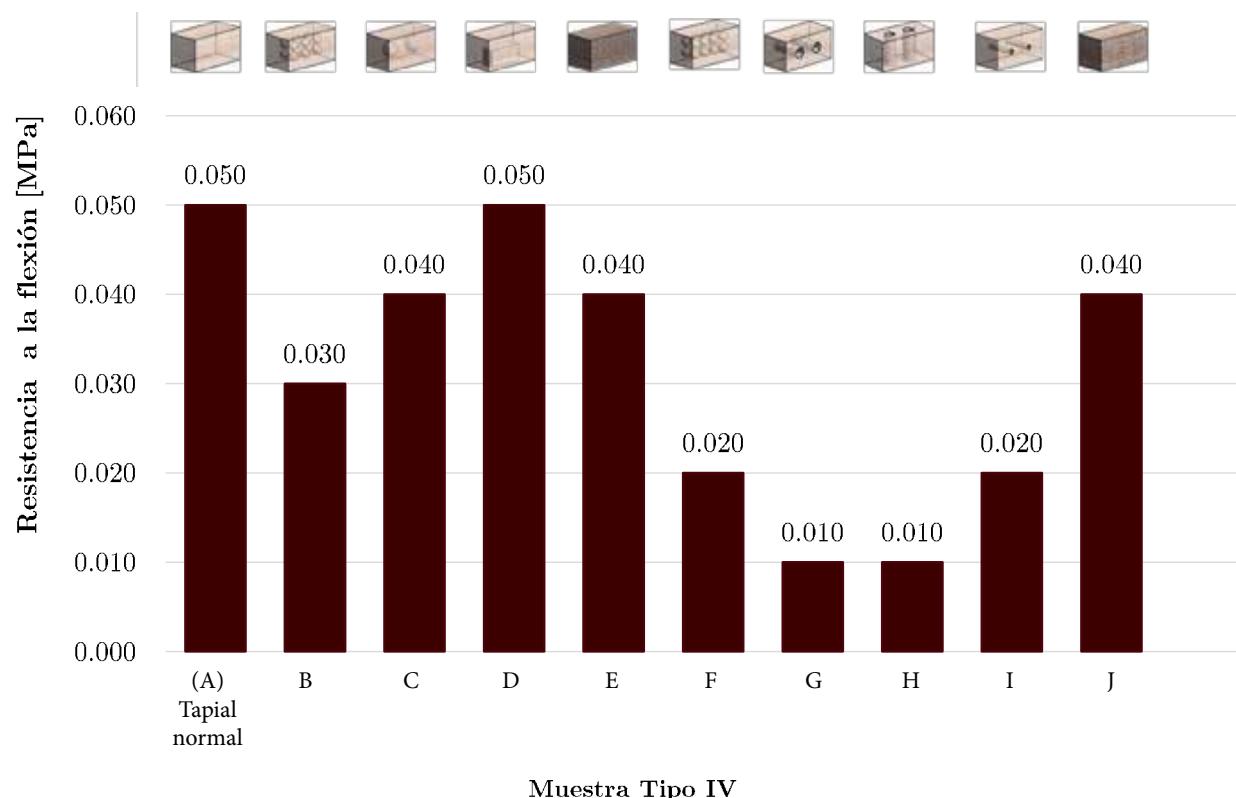


**Gráfico 15.** Resumen de la resistencia a la flexión de la muestra tipo IV modelo A-J. (Promedio de las 4 muestras por cada modelo)

#### 4.4.3.3. Resistencia a la flexión

Los ensayos de flexión en técnicas que utilizan tierra tienen alta relevancia debido a que las edificaciones de tierra son más propensas a las fisuras, ya sea por la forma irregular en la que se transmiten los esfuerzos atreves de los muros; por pequeñas irregularidades que pueden llegar a existir o simplemente un cascajo que se interponga entre las capas de tierra; todos estos son factores que intervienen en la irregularidad de la tierra como tal.

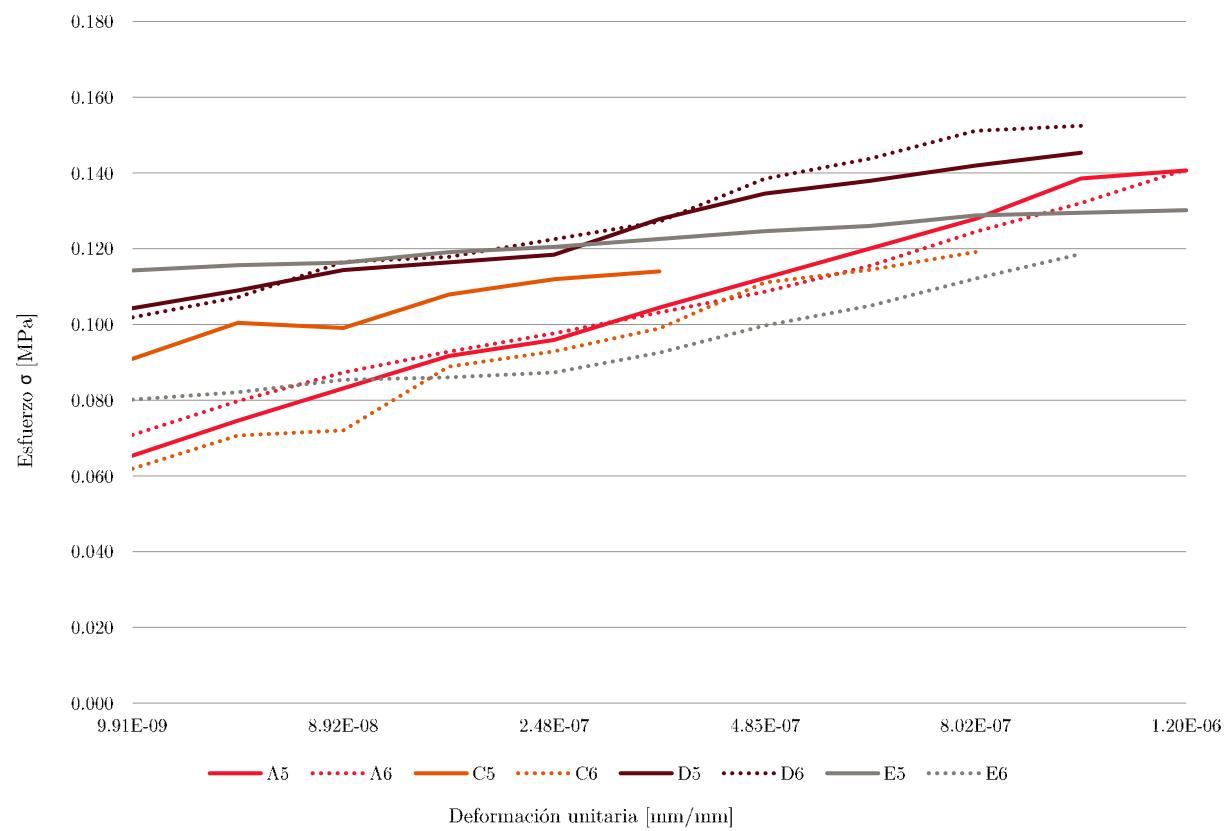
Para el ensayo de flexión se ensayaron 2 muestras de cada modelo, de los cuales se obtuvo el valor de resistencia cada 10mm del dispositivo comparador (ver gráficos 15, 16 y 17)



Elaboración propia. (2017)

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

**Gráfico 16.** Diagrama esfuerzo deformación de las muestras

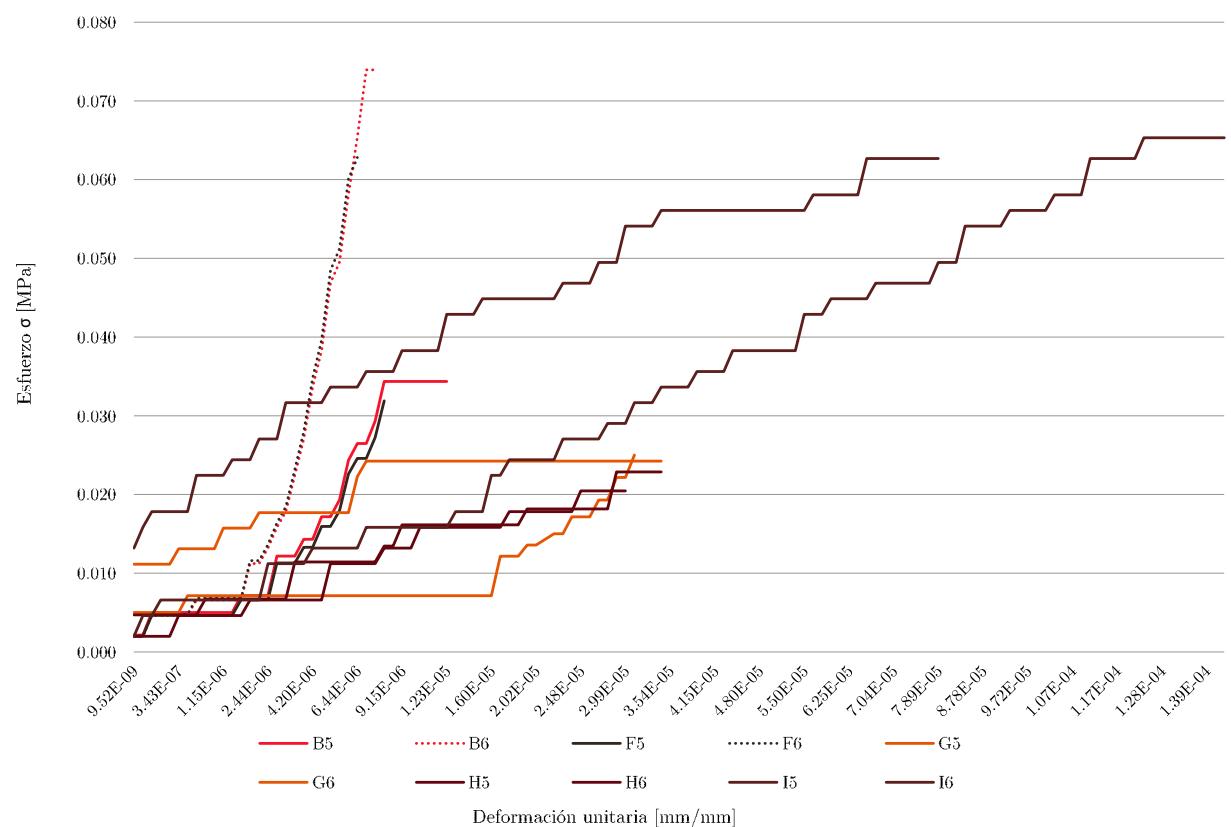


Elaboración propia. (2017)





**Gráfico 17.** Diagrama esfuerzo deformación de las muestras



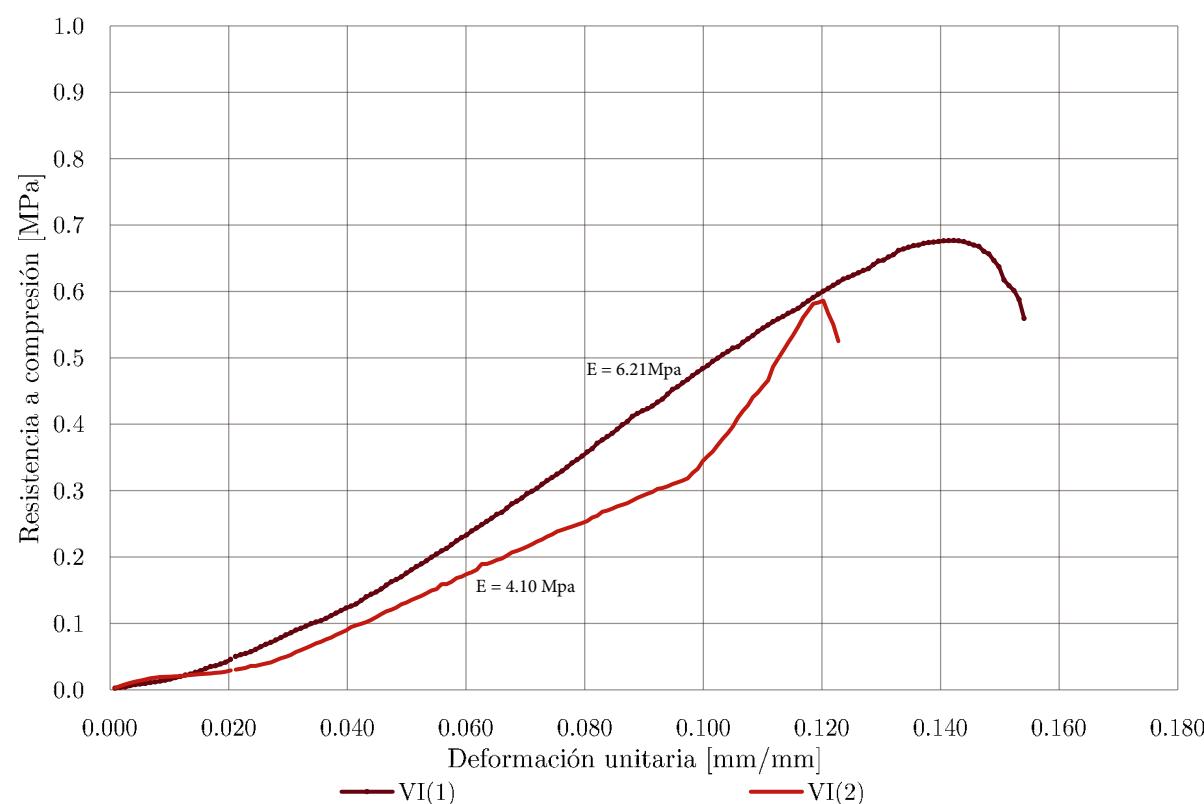
Elaboración propia. (2017)

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### 4.4.4. Análisis de las muestras VI y VII

Finalmente como tercera hipótesis, decidimos incluir en nuestra investigación el análisis de muretes de las formas VI y VII descritos en el capítulo anterior. Esto con el objetivo de medir los resultados de esfuerzo-deformación que existen en muestras de mayor tamaño (ver gráficos 18 y 19). Estos ensayos fueron realizados en base a la norma E.080 de Perú. Para el caso de muretes ensayados a compresión; la norma pide elaborar muretes donde la altura sea 3 veces la menor dimensión de la base aproximadamente (ver imágenes d14 d15). Los muretes del tipo VI fueron realizados en una misma tapialera tradicional, pero ajustamos el ancho para cumplir con los tamaños requeridos en norma E.080 que sugiere una altura que sea 3 veces el ancho de la muestra. Fueron elaborados 2 muretes de los cuales extraemos los siguientes resultados. Los datos se encuentran más detallados en el anexo 6.

**Gráfico 18.** Diagrama esfuerzo deformación de muretes de tapial tipo VI muestra 1 y 2



Elaboración propia. (2017)



**Gráfico 19.** Diagrama esfuerzo deformación de muretes de tapial tipo VII muestra 1 y 2

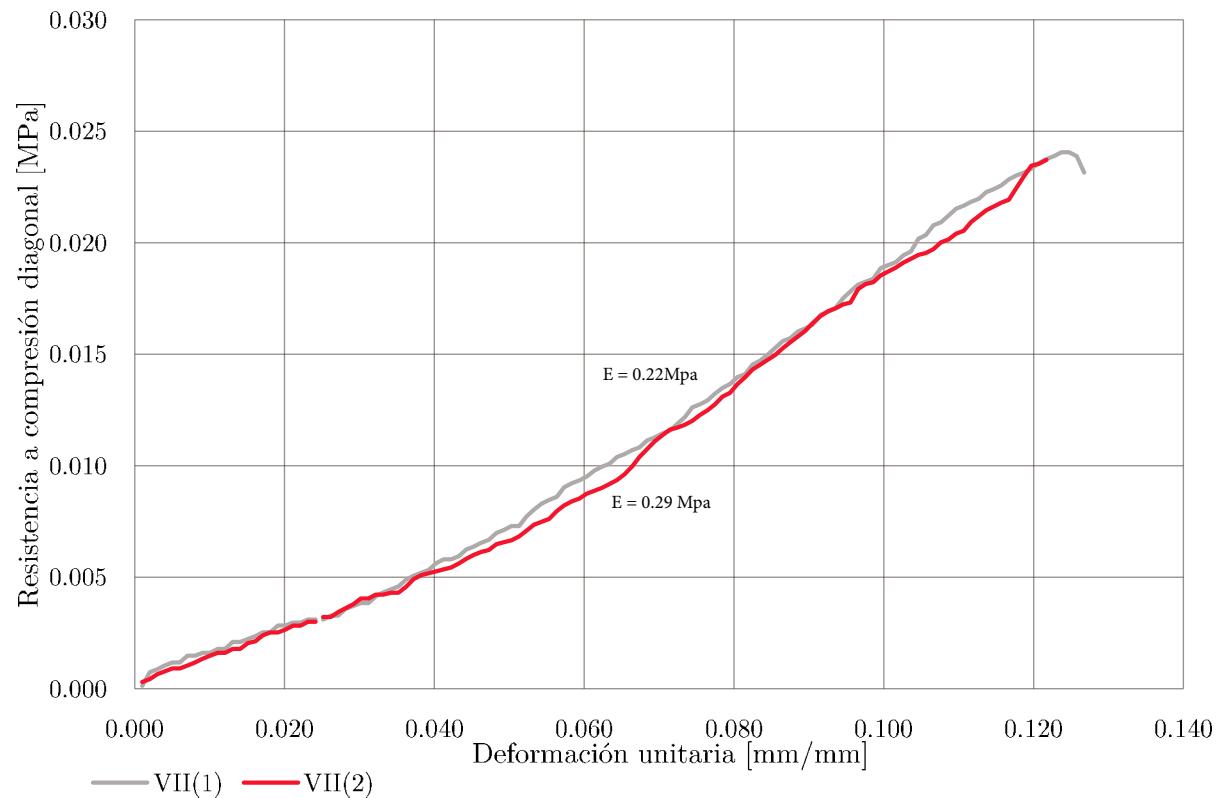


Imagen d15: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Murete ensayado a compresión. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Elaboración propia. (2017)

Imagen d16: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Murete ensayado a compresión diagonal. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### 4.4.4.1. Mecánica de los materiales y cálculos

En términos generales el diseño de elementos estructurales implica determinar la resistencia y rigidez del material estructural, dichas propiedades pueden ser relacionadas si analizamos una barra sometida a una fuerza axial para en el mismo tiempo registrar la fuerza aplicada y el alargamiento que dicha fuerza produce. Estos datos permiten determinar el esfuerzo y la deformación que dan origen al diagrama esfuerzo deformación.

Los diagramas son similares al tratarse de un mismo material, tal es el caso del hormigón o el acero que son algunos de los materiales más estudiados en el campo de la ingeniería. Este tipo de diagramas permite agrupar a los materiales en 2 categorías: dúctiles y frágiles. Los diagramas de materiales dúctiles son caracterizados por su capacidad de resistir

grandes deformaciones antes de la rotura. Por otro lado, los denominados materiales frágiles presentan un alargamiento bajo cuando llegan al punto de ruptura.

#### Esfuerzo

El esfuerzo se refiere a la fuerza para conseguir algo, en el caso del esfuerzo normal aplicado a la física, son las fuerzas internas de un material, distribuidas en toda un área el cual justamente es denominado esfuerzo a la fuerza por unidad de área. Normalmente el esfuerzo viene representado por la letra “sigma” ( $\sigma$  o  $\Sigma$ ) del alfabeto griego. (Braja M. Das, 2010).

$$\sigma = (\text{Fuerza normal}) / (\text{área de la sección transversal de la muestra})$$

$$\text{o } \sigma = P/A \quad (e)$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo

P = Fuerza axial o Carga (C)

A = Área de la sección transversal.

#### Deformación

El análisis de las deformaciones está relacionado con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas. Una barra sometida a una fuerza axial de tracción aumentará su longitud inicial; se puede observar que, bajo la misma carga, pero con una longitud mayor este alargamiento incrementará también. Por ello la deformación se define como; el cociente entre el alargamiento y la longitud inicial. Por lo tanto, matemáticamente la deformación sería:

$$\epsilon = \text{Alargamiento} / (\text{longitud inicial})$$

$$\text{o } \epsilon = \delta / L \quad (d)$$

Donde:

$\epsilon$  = Deformación unitaria (E) [mm/mm]

$\delta$  = incremento o alargamiento ( $\Delta$ ) [mm]

L = Longitud inicial [mm]



La deformación unitaria o  $\epsilon$  viene de la ley de Hooke, en nuestros cálculos será necesario usar esta fórmula con los resultados obtenidos en el laboratorio. La fórmula es constante, pero cambian los datos según el ensayo por ejemplo para los cálculos de compresión directa o compresión diagonal usaremos la formula (d1) mientras que para flexión usaremos lo especificado en la formula (d2) ver adelante sus valores.

Deformación unitaria para el ensayo resistencia a compresión directa:

$$\epsilon = \delta/h \quad (d1)$$

Donde:

$D = \delta$  = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm]  
 $h$  = Altura de la muestra [mm]

Para determinar la deformación unitaria de un elemento sometido a la resistencia a la flexión se debe establecer una relación entre la deformación medida en el centro del elemento y el radio de giro.

Entonces la deformación sería:

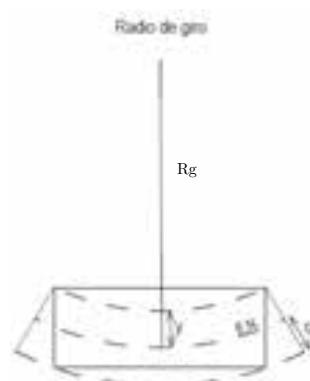
$$\epsilon = \delta/r^g \quad (d2)$$

Donde:

$D = \delta$ =deformación en el centro de la cara inferior de la muestra[mm]

$r^g$  = radio de giro (d3) [mm]

El radio de giro para la forma de nuestras muestras viene dado por la siguiente formula:



$$r^g = (1/8/\delta) \sqrt{(16*\delta^2*L^2 + (4\delta^2+L^2)^2)} \quad (d3)$$

Donde:

$D = \delta$ =deformación en el centro de la cara inferior de la muestra[mm]

$L$  = Longitud entre apoyos [mm]

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Para medir el esfuerzo es necesario usar la siguiente formula y viene definida por el símbolo ( $\sigma$  o  $\Sigma$ ) conocida como la letra “sigma” del alfabeto griego. Esfuerzos generados por el momento a flexión.

Para llegar a los resultados es importante notar la geometría de la forma porque es la que define la fórmula del esfuerzo. Para el caso de las muestras usadas en nuestra tesis los elementos sometidos a flexión son los prismas donde analizaremos los datos producidos por el momento mayor de la figura que este caso es el centro por lo que el esfuerzo será calculado por la fórmula:

$$\sigma = (M*c)/I \text{ (e1)}$$

Donde:

M = Momento

c = Distancia al eje neutro (altura total/2) [mm]

I = Inercia del cuerpo. [mm<sup>4</sup>]

En nuestro caso la fórmula del momento está definida por el siguiente análisis diagrama:

De este análisis podemos calcular el momento como:

$$M = (C*L)/6 \text{ (m)}$$

Donde:

C = Carga axial o fuerza P [N]

L = Longitud entre apoyos [mm]

Mientras que la inercia corresponde a un prisma definido por:

$$I = (b*h^3)/12 \text{ (i)}$$

Donde:

b = Dimensión de la base en la muestra [mm]

h = Altura de la muestra [mm]



Imagen d17: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Prueba de resistencia a la flexión muestra tipo IV modelo I [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

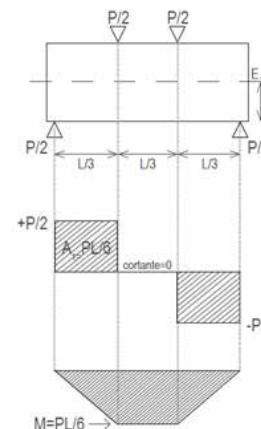
Diagrama de Cargas  $P = C$ 

Diagrama de cortante

Diagrama de momentos

### Módulo de Young

Es conocido también como módulo de elasticidad y se representa con la letra E, es un parámetro para el diseño estructural resultado de la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria. En materiales no isótropos como la tierra el módulo es variable ya que depende de factores externos, como la composición del suelo, fabricación, condiciones de secado, etc.



Por lo cual este valor no es constante como pasa con el hormigón o el acero. Matemáticamente el módulo de elasticidad sería:

$$E = (\sigma) / \epsilon$$

Donde:

$E$  = Módulo de elasticidad [Mpa]

$\sigma$  = Esfuerzo [Mpa]

$\epsilon$  = deformación unitaria [mm/mm]

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

### 4.5. El alivianamiento del tapial

El objetivo principal de esta investigación fue tratar de disminuir el peso de los muros de tapial sin perder la esencia de la técnica ni sus propiedades como tal. Durante el proceso pudimos probar varios métodos con los cuales creemos que se puede disminuir el peso (ver imágenes d18 d19 y d20); además de utilizar estos materiales nos concentraremos en la forma de colocarlos para que estos no afecten al comportamiento ni resistencia del material.

Después de varias muestras realizadas nos dimos cuenta que existen n cantidad de materiales y a su vez n cantidad de formas con las que se puede probar; es así que tratamos de ensayar las que creímos más convenientes e importantes para la investigación.

Creemos que esta investigación es una puerta de entrada a posibles investigaciones que se

puedan llevar a cabo en un futuro, con el fin de explorar más sobre un material que ha sido olvidado por muchos.

#### 4.5.1. Porcentaje de alivianamiento

Como se puede observar a continuación (ver gráfico 20), el mayor porcentaje de alivianamiento conseguido fue del 11% en las muestras tipo IV modelo G realizado con PVC.

Por otra parte es necesario generar una comparación con la resistencia que obtuvo cada modelo ensayado (ver gráfico 21); en el gráfico observamos que el tapial tipo IV, modelo I, fabricado con PVC y cabuya tuvo un incremento del 21% en su resistencia. Es así que llegamos a la conclusión de que el mejor modelo realizado fue el tipo I por su porcentaje de alivianamiento del 9% y su incremento del 21% en la resistencia frente a la muestra original.



Imagen d18: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Materiales para pruebas de alivianamiento. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



### Cambio de unidades

En el laboratorio fueron obtenidos resultados en distintas unidades a la que presentamos los resultados por lo que fue necesario elaborar cambio de unidades que detallaremos a continuación. Los valores dedicados a medir la fuerza en las maquinas del laboratorio están en  $\text{Kg/cm}^2$  siendo nombrados por la letra (t) en todas las tablas; pero era necesario transformar a Newtons [N], por lo que fue necesario para los cálculos multiplicar por el valor de 9.807. Para las unidades de deformación utilizamos un instrumento conocido como deformímetro con precisión 0.001"; tomando valores cada 2 o 5 unidades dependiendo las necesidades de la investigación, para utilizar estos valores en los cálculos debimos transformar a milímetros [mm] por lo que fue necesario multiplicar por el valor de 25.4 equivalente de una pulgada (") en (mm). Los resultados finales y las gráficas de deformación estarán expresados en [mm/mm].

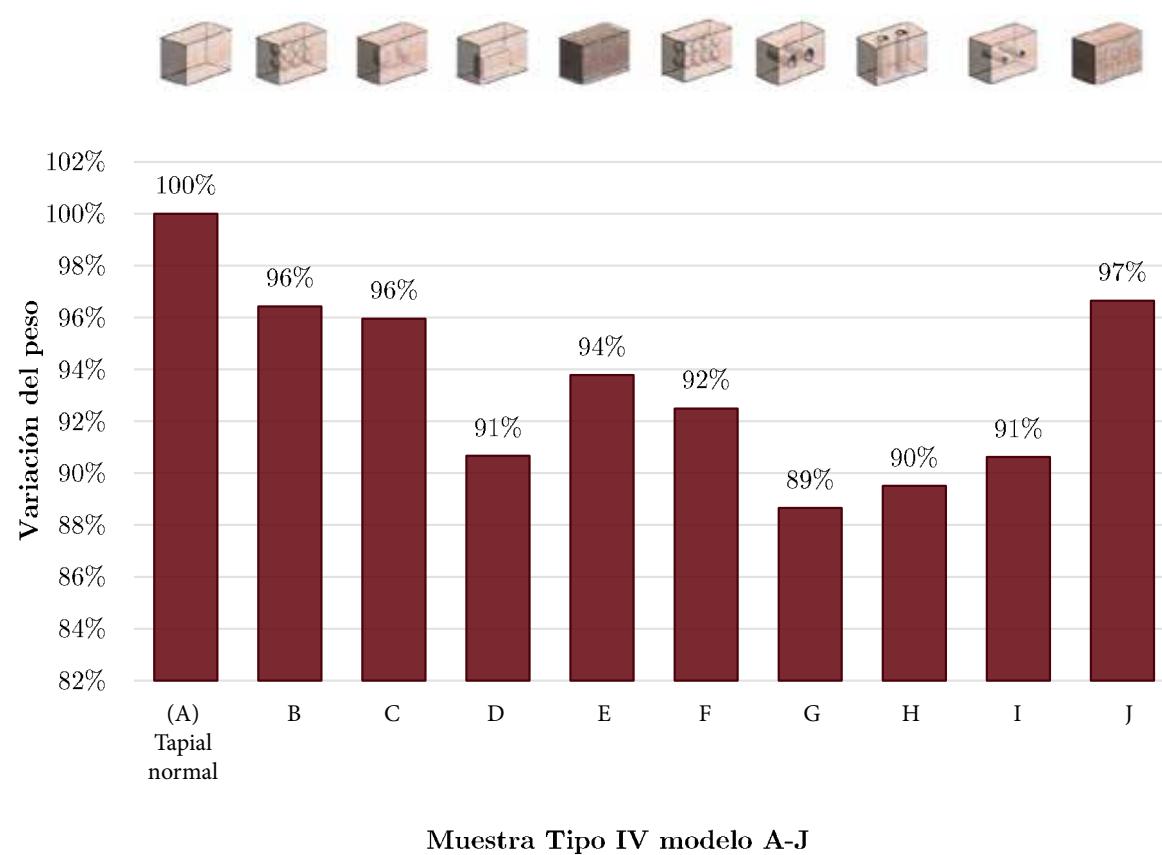


Imagen d19: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Prparacion de muestra tipo IV modelo H [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen d120: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Tierra mezclada con poliestireno expandido [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

## capítulo 4 METODOLOGÍA Y RESULTADOS

**Gráfico 20.** Variación de peso en las muestras IV, respecto al tapial normal



Elaboración propia. (2017)



Imagen d21: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestra tipo IV modelo F con poliestireno expandido. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen d22: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestra tipo IV modelo G de PVC. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.



**Gráfico 21.** Variación de la carga en las muestras IV, respecto al tapial normal

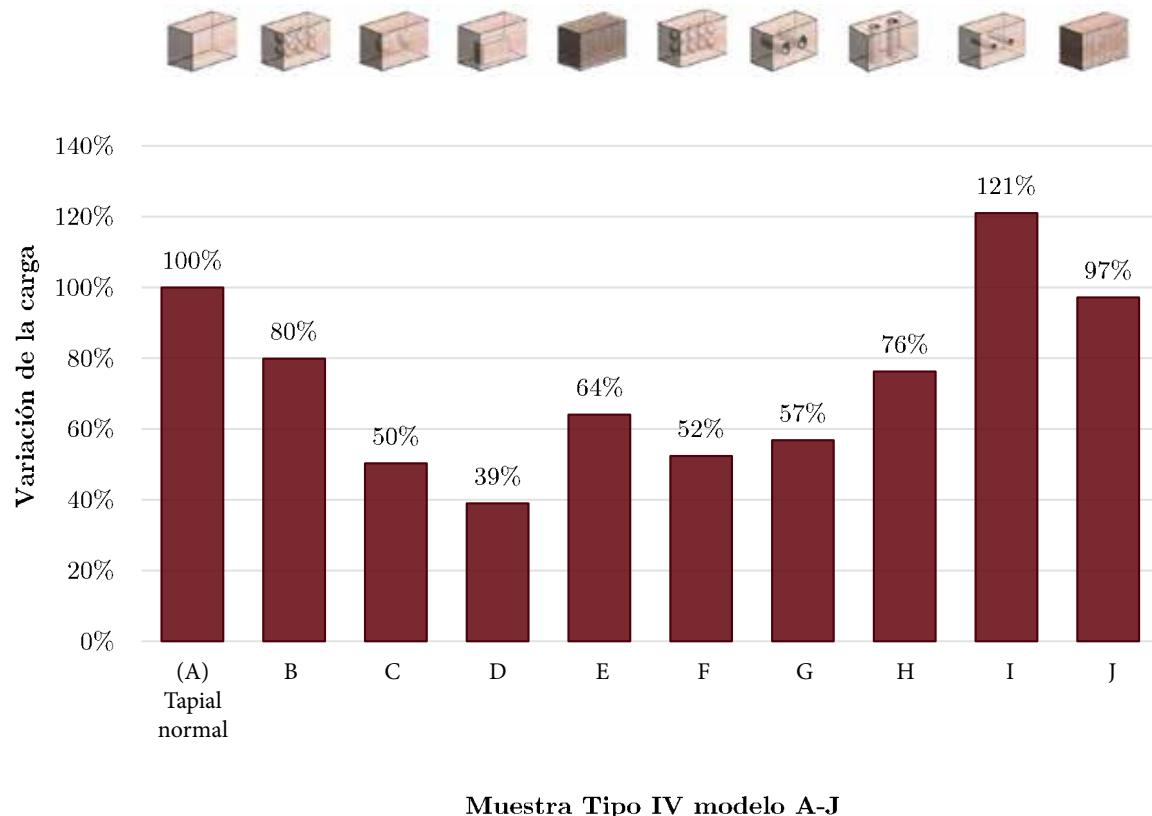


Imagen d23: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestra tipo IV modelo D con poliestireno expandido. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Imagen d24: Sarmiento, I. & Cárdenas, A (2017). Muestra tipo IV modelo I de cabuya más PVC. [Fotografía]. Cuenca, Ecuador.

Elaboración propia. (2017)

# conclusiones

## cap 4

La tierra seleccionada para nuestra investigación (Paute) cumple con la mayoría de las normas existentes para en tapial sin utilizar ninguna clase estabilizante.

Las formas tipo I, II, III, IV y V, sirvieron para determinar el valor de la resistencia a la compresión de una muestra de tapial.

La forma tipo IV (30 x 15 x 15 centímetros) es la muestra con la forma más eficiente para determinar los ensayos de resistencia tanto a la compresión como a la flexión.

De los modelos propuestos para alivianar el 100 % disminuyen su peso en comparación con el tapial original.

El modelo J realizado con cabuya y PVC, es la muestra que creemos más favorable, ya que 9% de su peso con respecto a un tapial normal y aumenta su resistencia a la compresión alcanzando 2.4 Mpa (24.5 Kg/cm<sup>2</sup>).

La expresión formal del tapial alivianado se asemeja a la de un tapial tradicional, es decir que su aspecto formal no se ha visto afectado al momento de realizar la investigación.

Las pruebas ancestrales ayudaron para aproximarnos a las recomendaciones descritas por los manuales para construir con tapial, teniendo una excelente congruencia con los ensayos de laboratorio, tal como el ensayo de Proctor con la humedad óptima, que fue indispensable para elaborar las muestras con la misma humedad y en algunos casos con variaciones mínimas en la humedad inicial de las muestras.

Las técnicas ancestrales del Ecuador no dejan de ser iconos de investigación por su practicidad y uso de la lógica constructiva con grandes resultados

Los muros alivianados experimentados pueden ser usados como muros de cierre o confinamiento

ya sea en planta baja o alta. Además, aquellos que cumplen con la normativa vigente pueden ser usados como muros portantes.

La presente investigación puede ser una base para las directrices de construcción en tapial y a su vez ser un punto de partida para varias líneas de investigación que se podrían llevar a cabo en un futuro.

# recomendaciones

Es preferible elaborar tapias que sean más altas de la medida requerida para evitar lastimar la cabeza de los pisones y las esquinas de las mismas.

La tapialera debe ser elaborada con materiales que difícilmente sufran deformaciones, ya que la fuerza requerida para compactar la tierra húmeda tiende a deformar las compuertas de la tapialera dando como resultado muros con paredes curvas.

Es preferible evitar las corrientes de viento durante el secado de las muestras; ya que generan pérdidas de humedad violentas, que normalmente destruyen las esquinas de las mismas.

Debemos pensar en el tapial no solo como elementos de muros portantes sino con mayores expectativas relacionadas al confort, estética y permanencia en el tiempo.

Se puede encontrar nuevas formas para muros teniendo paredes estables con perforaciones y permitiendo a la arquitectura nuevos conceptos en tierra.

Un material de antaño podría ser usado en el presente para que en el futuro sea un nuevo material para edificaciones.

Uno de los problemas al fabricar la muestra tipo V (cilindro), fue el desencofrado; debido a que los cilindros de acero no se abrían completamente y resultaba difícil sacar las muestras, utilizando mayor tiempo para fabricar las muestras; además esto generó la perdida de varias muestras. Otro problema fue la compactación, ya que resultó complicado controlar la altura de las capas y el remate final. Por tales motivos no recomendamos realizar ensayos en este molde.

A raíz de que en los últimos años existe una preocupación por las construcciones actuales y el manejo de los recursos, se considera el tapial como una alternativa viable para la construcción de muros portantes o de confinamiento

## BIBLIOGRAFÍA

### Bibliografía

- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de La Construcción*, 63(523), 5–20. <https://doi.org/10.3989/ic.10.046>
- Braja M. Das. (2010). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Dados (IV). México, D.F, México: Cengage Learning, Inc. Corporativo. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ciancio, D., & Jaquin, P. (2011). An Overview of Some Current Recommendations on the Suitability of Soils for Rammed Earth. *Proceedings of International Workshop on Rammed Earth Materials and Sustainable Structures & Hakka Tulou Forum 2011: Structures of Sustainability*, 28–31.
- CIDAP. (2005). La Cultura Popular en el Ecuador (Vol. 6). Cuenca, Ecuador: Publicaciones del CIDAP.
- Easton, D. (2007). The rammed earth house. White River Junction, Vt, Estados Unidos: Chelsea Green Pub. Co.
- Elia-Anna, GALIOUNA. Lars, HAMMER. Giorgio, P. (2014). Designing and Building Walls With Rammed Earth (Tesis de maestría). Universidad de Delft, Alemania.
- Font, F., & Hidalgo, P. (2011). La tapia en Espana. Tecnicas actuales y ejemplos. *Informes de La Construcción*, 63(523), 21–34. <https://doi.org/10.3989/ic.10.015>
- Gabriela, E., & Jaramillo, C. (2015). Estudio del hormigón celular (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Nacional, Ecuador.
- Gomes, M. I., Gonçalves, T. D., & Faria, P. (2014). Unstabilized Rammed Earth: Characterization of Material Collected from Old Constructions in South Portugal and Comparison to Normative Requirements. *International Journal of Architectural Heritage*, 8(2), 185–212 195. <https://doi.org/10.1080/15583058.2012.683133>
- Habiterra, R., & Cyted, X. I. V. A. (2003). Arquitecturas de Tierra en Iberoamérica. Buenos Aires: Impresiones Sudamérica.
- Jaquin, P. A., Augarde, C. E., & Gerrard, C. M. (2008). Chronological Description of the Spatial Development of Rammed Earth Techniques. *International Journal of Architectural Heritage*, 2(4), 377–400. <https://doi.org/10.1080/15583050801958826>
- Jiménez, M. Guerrero, I. (2007). The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. *Construction and Building Mate-*



- rials, 21(2), 237–251. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.006>
- Lauris Birznieks. (2013). Designing and building with compressed earth (tesis de maestría). Universidad de Delft, Alemania.
  - Li, Q., You, R., Chen, C., & Yang, X. (2013). A field investigation and comparative study of indoor environmental quality in heritage Chinese rural buildings with thick rammed earth wall. Energy and Buildings, 62, 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.057>
  - Maldonado, L. Castilla, F. Vela, F. (1997). La técnica del tapial en la comunidad autónoma de Madrid. Aplicación de nuevos materiales para la consolidación de muros de tapia. Informes de La Construcción, 49, no 452(c), pág. 27-38.
  - Maniatidis, V., & Walker, P. (2003). A review of rammed earth construction. Developing rammed earth for UK housing. University of Bath, Rerino Unido. Retrieved from <http://staff.bath.ac.uk/abspw/rammedearth/review.pdf>
  - Meritxell Ortiz Campañá. (2014). CATapia. LA ARQUITECTURA DE TAPIA EN CATALUÑA. CONOCIMIENTO, REIVINDICACIÓN Y RESTAURACIÓN. Universidad de Cataluña.
  - Minke, G. (2005). Manual de construccion en tierra. (G. Herzfeld, K. Loayza, R. Peterseen, Trans.). Montevideo, Uruguay: Fin de siglo. <https://doi.org/10.1007/3-7643-7873-5>
  - Minke, G. (2006). Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture. Basel • Berlin • Boston, Alemania: Birkhäuser. <https://doi.org/10.1007/3-7643-7873-5>
  - Moquin, M. (1994). ANCIENT SOLUTIONS FOR FUTURE SUSTAINABILITY : BUILDING WITH ADOBE , RAMMED EARTH , AND MUD. The Adobe Journal, 543–552.
  - P. Doat, Hays, A. Houben, H. Matuk, S. & Vitoux, F. (1995). Building With Earth Tapial. (M. Puri, Asha. & Bhatnagar, Trans.). New Delhi, India: Rakmo Press Pvt. Ltda.
  - Pesantes, M.; Gonzalez, I. (2011). Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar. National Institute of Cultural Heritage (INPC - Ecuador). Cuenca, Ecuador. Retrieved from <https://issuu.com/inpc/docs/arquitectura>
  - Ramirez, M. (1980). Formas colectivas de la producción agrícola ecuatoriana caso específico: Las mingas. In IOA (Instituto otavaleño de Antropología) (pp. 85–111). Otavalo: Gallocapitán C. A.
  - Scaletti, A. (2014). Estudio Tipológico Vernacular Residential Architecture in Lamas , Peru : a Typological Study. Consensus, 19(2), 9–24.

## BIBLIOGRAFÍA

- Schroeder, H. (2011). La transferencia de humedad y el cambio en la resistencia durante la construcción de edificios de tierra. *Informes de La Construcción*, 63(523), 107–116. <https://doi.org/10.3989/ic.10.023>
- Silva, Rui A. Oliveira, Daniel V. Miranda, Tiago F. Escobar, M Carolina. Cristelo, N. M. (2012). Rammed earth: Feasibility of a global concept applied locally. 13o Congresso Nacional de Geotecnia. <https://doi.org/Cd-rom>
- Tejada, Schmidt; Mendoza, Alan; Dávila, D. . (1990). Urbano Tejada Schmidt Alan Mendoza García. Lima, Perú: Sencico. Retrieved from <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3006>
- Tillería González, J. (2006). La Arquitectura Sin Arquitectos, Algunas Reflexiones Sobre Arquitectura Vernácula. Aus, (8), 12–15. <https://doi.org/10.4206/aus.2010.n8-04>
- Velecela, M. (2008). ARQUITECTURA VERNACULA: Del Pachamama al Cojitambo (tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Yépez, D. (2012). Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Catalunya, España.



## Páginas web

- BASF.SE. (2017). BASF. Recuperado de: <https://www.bASF.com/br/pt.html>
- Universidad de Arte y Diseño Industrial de Linz. (s.f.) BAYA Jardín “Ursula Nikodem-Edlinger”. Recuperado de: <http://www.diearchitektur.at/baya/>
- LEHMO.AT. KARAK.AT. (2017). Lehm Ton Erde. Última visita el: September 2, 2017, Fuente: <http://www.lehmtonerde.at/en/>
- UNESCO. (1984). Alhambra, Generalife y Albaicín de Granada. Última visita: July 31, 2017, from <http://whc.unesco.org/es/list/314>
- UNESCO. (1987). Ksar de Ait Ben Hadu. Última visita: July 31, 2017, Encontrado en: <http://whc.unesco.org/es/list/444>
- UNESCO. (1994). The Potala Palace. Última visita: July 17, 2017, Encontrado en: <http://whc.unesco.org/en/documents/112628>
- UNESCO. (2008). Fujian Tulou. Última visita: July 17, 2017, Encontrado en: [whc.unesco.org/en/documents/126302](http://whc.unesco.org/en/documents/126302)
- UNESO. (2017). La Gran muralla China. Última visita: July 17, 2017, Encontrado en: <http://whc.unesco.org/en/documents/131380>
- Muscio E. (2013). Shigras de la sierra de Ecuador. Recuperado de: <http://eugeniamuscio.blogspot.com/2013/12/shigras-de-la-sierra-de-ecuador.html>
- SONDALIS. (s.f.). Furos de agua. Recuperado de: <https://www.sondalis.pt/>
- CIVILGEEKS. (s.f.). Ingenería y construcción. Recuperado de: <http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2011/10/2.jpg>

## BIBLIOGRAFÍA

### Normas

- AASHTO. (2004). Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Solids. T90-00, AASHTO, Washington, D.C.
- AASHTO. (2004). Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soild. T89-02, AASHTO, Washington, D.C.
- ASTM C702, 2003, Práctica Normativa para Reducir las Muestras de Agregados a Tamaño de Prueba, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998, doi: 10.1520/C0033-03
- ASTM C117-13, Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org
- ASTM D2216-10, Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, www.astm.org
- ASTM D698-12e2, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN·m/m<sup>3</sup>)), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org
- ASTM C188-16, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org
- ASTM D422-63(2007)e2, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils (Withdrawn 2016), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, www.astm.org
- AASHTO No. T 27 Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates Available from American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol St. N.W., Suite 225, Washington, DC 20001.
- ASTM D4318-10e1, Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, www.astm.org
- E.080, N. Norma E.080 diseño y construcción con tierra reforzada (2017). Lima, Perú. Encontrado en: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3478>
- INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) (2015). Cpe Inen-Nec-Se-Vivienda Cap10.



- Lehmbau Regeln. Begriffe; Baustoffe; Bauteile, (1999). Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, Alemania.
- MOPT (Ministerio de Obras Públicas y Transportes), 1992. Bases Para el Diseño y Construcción con Tapial., Madrid.
- New Mexico Adobe and Rammed Earth Building-Code. New Mexico Earthen Buildings Materials Code. NMAC 14.7.4. 2003., Construction Industries Division CID of the regulation and Licensing Departament. § (2017). s/n, Estados Unidos: Construction Industries Division CID of the regulation and Licensing Departament
- NZS 4298. NZS 4298 (1998): Materials and workmanship for earth buildings, 4298 New Zealand Technical Committe § (1998). Wellington, Nueva Zelanda.
- T11 Method of Test for Amount of Material Finer than 0.075-mm Sieve in Aggregate Available from American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 444 N. Capitol St., NW, Suite 249, Washington, DC 20001.
- 
- Standards Association Zimbabwe SAZS 724. Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures. (2001). Harare, Zimbabwe.
- Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils AASHTO Designation: T 88-10 American Association of State Highway and Transportation Officials 444 North Capitol Street N.W., Suite 249 Washington, D.C. 20001

# ANEXOS



HUMDOLIT



## Anexo 1

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-03-22

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	348.91
Agua (g)	151.09
Porcentaje de humedad	<b>43.30%</b>

Tipo I  
Modelo -  
Vol aprox. 125  
cm

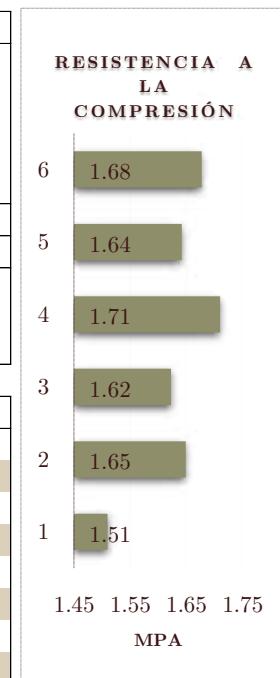


# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	202.16	210.42	207.81	205.83	212.24	210.00	<b>208.08</b>	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		Peso (g)
21	-	-	-	-	-	-		
28	162.26	167.72	166.74	162.84	165.89	166.76	<b>165.37</b>	

# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.92	0.95	0.94	0.93	0.96	0.95	<b>0.94</b>	Densidad seca
0	1.58	1.63	1.63	1.60	1.64	1.62	<b>1.62</b>	Densidad húmeda
28	1.27	1.30	1.30	1.27	1.28	1.29	<b>1.29</b>	Densidad húmeda

#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	5.02	5.04	5.04	5.03	5.05	5.05		
a	5.03	5.04	5.06	5.05	5.03	5.03		
h	5.05	5.07	5.01	5.07	5.09	5.08		
V	127.72	128.79	127.87	128.68	129.50	129.24		
A	25.27	25.39	25.51	25.39	25.42	25.43		
C	381.60	418.70	414.00	434.30	417.40	426.60		
C/A	15.10	16.49	16.23	17.10	16.42	16.77		
<b>R</b>	<b>1.51</b>	<b>1.65</b>	<b>1.62</b>	<b>1.71</b>	<b>1.64</b>	<b>1.68</b>	<b>1.64</b>	<b>Mpa</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup> ); A = área de carga(cm<sup>2</sup> ); C = carga Kg/cm<sup>2</sup> ; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).





## Anexo 2

Título: Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-02-07

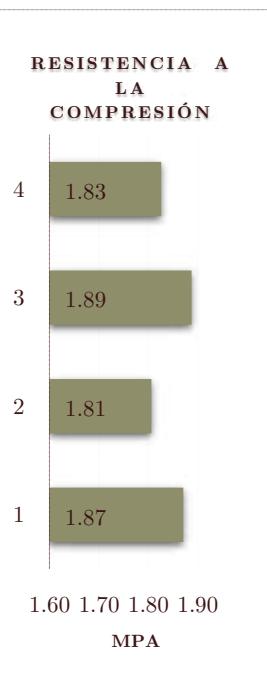
Muestra húmeda (g)	100.00
Muestra seca (g)	68.72
Agua (g)	31.28
Porcentaje de humedad	45.52%

Tipo II  
 Modelo C  
 Vol aprox. 1000  
 cm



#dia \#	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
0	1607.37	1581.70	1583.11	1511.36		
7	-	-	-	-		
14	-	-	-	-		
21	-	-	-	-		Peso (g)
28	1319.00	1287.70	1297.10	1242.1		
					1286.48	

#dia \#	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
0	0.88	7.17	7.18	6.86		
0	1.63	1.65	1.62	1.62		Densidad seca
28	1.34	10.00	10.14	9.65		Densidad húmeda
					7.78	Densidad húmeda



#	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
l	10.16	9.78	10.15	9.90		
a	9.96	9.97	9.93	9.88		
h	9.74	9.81	9.69	9.55		
V	985.63	956.54	976.65	934.10		
A	101.19	97.51	100.79	97.81		
C	1893.10	1761.60	1902.80	1786.50		
C/A	18.71	18.07	18.88	18.26		
<b>R</b>	<b>1.87</b>	<b>1.81</b>	<b>1.89</b>	<b>1.83</b>	<b>1.85</b>	<b>Mpa</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup> ); A = área de carga(cm<sup>2</sup> ); C = carga Kg/cm<sup>2</sup> ; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



## Anexo 2.1

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-05-02

Muestra húmeda (g)	100.00
Muestra seca (g)	78.59
Agua (g)	21.41
Porcentaje de humedad	<b>27.24%</b>

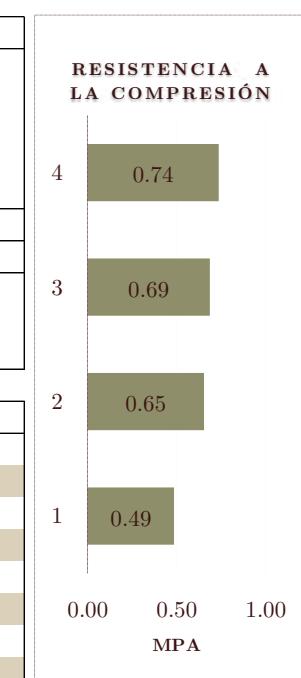
Tipo **II**  
 Modelo **A**  
 Vol aprox. **1000**  
**cm**



# dia	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
0	1406.50	1428.80	1470.57	1397.40		
7	-	-	-	-		
14	-	-	-	-		
21	-	-	-	-		
28	1212.90	1231.20	1269.40	1209.6	<b>1230.78</b>	

Peso (g)

# dia	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
0	1.02	1.04	1.07	1.02	<b>1.04</b>	Densidad seca
0	1.43	1.44	1.46	1.49	<b>1.46</b>	Densidad húmeda
28	1.23	1.24	1.26	1.29	<b>1.26</b>	Densidad húmeda



#	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
l	10.00	10.20	10.04	9.90		
a	9.90	10.02	9.97	9.90		
h	9.94	9.72	10.06	9.55		
V	984.06	993.42	1006.99	936.00		
A	99.00	102.20	100.10	98.01		
C	481.90	668.50	688.00	721.50		
C/A	4.87	6.54	6.87	7.36		
<b>R</b>	<b>0.49</b>	<b>0.65</b>	<b>0.69</b>	<b>0.74</b>	<b>0.64</b>	<b>Mpa</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



## Anexo 2.2

Título: Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-05-02

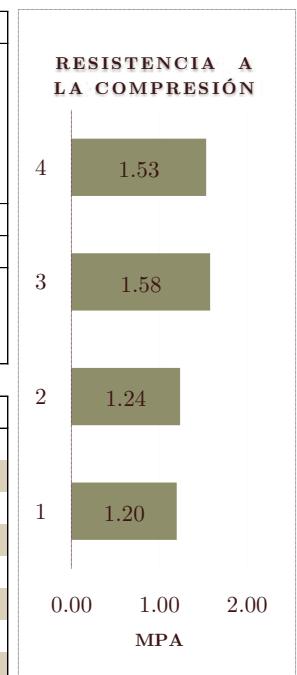
Muestra húmeda (g)	100.00
Muestra seca (g)	76.81
Agua (g)	23.19
Porcentaje de humedad	<b>30.19%</b>

Tipo **II**  
 Modelo **B**  
 Vol aprox. **1000**  
**cm**



#dia	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	Promedio	Observaciones
0	1406.50	1428.80	1470.57	1397.40		
7	-	-	-	-		
14	-	-	-	-		
21	-	-	-	-		Peso (g)
28	1212.90	1231.20	1269.40	1209.6	<b>1230.78</b>	

#dia	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	Promedio	Observaciones
0	0.98	1.00	1.03	0.98	<b>1.00</b>	Densidad seca
0	1.37	1.44	1.60	1.44	<b>1.47</b>	Densidad húmeda
28	1.23	1.24	1.26	1.29	<b>1.26</b>	Densidad húmeda



#	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	Promedio	Observaciones
l	9.88	9.87	10.13	9.95		
a	9.93	9.88	9.98	9.92		
h	10.43	10.15	9.10	9.80		
V	1023.27	989.78	919.99	967.30		
A	98.11	97.52	101.10	98.70		
C	1177.30	1206.30	1598.30	1514.90		
C/A	12.00	12.37	15.81	15.35		
<b>R</b>	<b>1.20</b>	<b>1.24</b>	<b>1.58</b>	<b>1.53</b>	<b>1.39</b>	<b>Mpa</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup> ); A = área de carga(cm<sup>2</sup> ); C = carga Kg/cm<sup>2</sup> ; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



## Anexo 2.3

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-05-02

Muestra húmeda (g)	100.00
Muestra seca (g)	70.48
Agua (g)	29.52
Porcentaje de humedad	41.88%

Tipo: **II**  
 Modelo: **D**  
 Vol aprox.: **1000 cm**

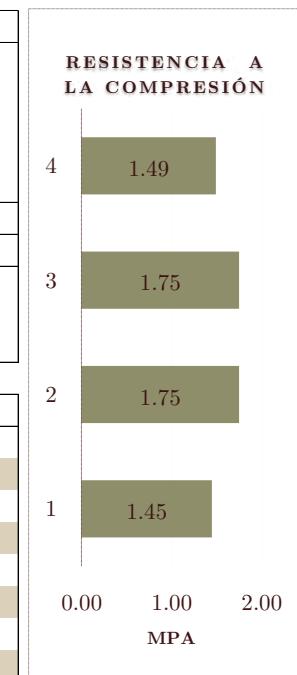


# dia	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
0	1475.45	1497.08	1475.48	1506.52		
7	-	-	-	-		
14	-	-	-	-		
21	-	-	-	-		
28	1162.70	1162.30	1184.60	1180.2	<b>1172.45</b>	

# dia	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
0	0.86	0.87	0.86	0.88	<b>0.87</b>	Densidad seca
0	1.60	1.62	1.59	1.63	<b>1.61</b>	Densidad húmeda
28	1.18	1.17	1.18	1.26	<b>1.20</b>	Densidad húmeda

#	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
l	9.74	9.81	9.86	9.90		
a	9.91	9.90	9.90	9.90		
h	9.55	9.51	9.48	9.44		
V	921.27	924.17	925.14	925.14		
A	96.50	97.15	97.61	97.97		
C	1397.60	1701.30	1708.70	1463.40		
C/A	14.48	17.51	17.50	14.94		
<b>R</b>	<b>1.45</b>	<b>1.75</b>	<b>1.75</b>	<b>1.49</b>	<b>1.61</b>	<b>Mpa</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).





## Anexo 2.4

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-05-02

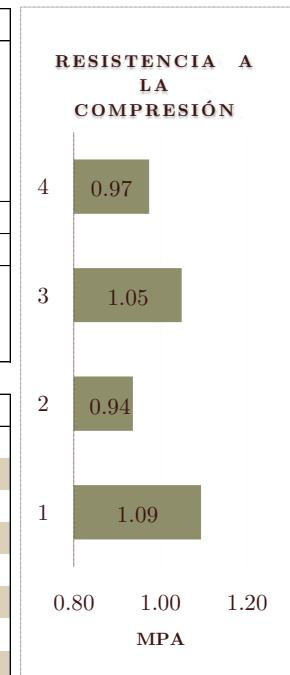
Muestra húmeda (g)	100.00
Muestra seca (g)	66.86
Agua (g)	33.14
Porcentaje de humedad	<b>49.57%</b>

Tipo **II**  
 Modelo **E**  
 Vol aprox. **1000**  
**cm**



# dia	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Promedio</b>	<b>Observaciones</b>
0	1607.37	1751.84	1670.57	1742.40	<b>1693.05</b>	
7	-	-	-	-		
14	-	-	-	-		Peso (g)
21	-	-	-	-		
28	1219.00	1263.80	1289.40	1253.62	<b>1256.46</b>	

# dia	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Promedio</b>	<b>Observaciones</b>
0	0.81	0.88	0.84	0.88	<b>0.85</b>	Densidad seca
0	1.74	1.81	1.79	1.79	<b>1.78</b>	Densidad húmeda
28	1.24	1.27	1.28	1.34	<b>1.28</b>	Densidad húmeda



#	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Promedio</b>	<b>Observaciones</b>
l	9.91	10.47	9.90	10.12		
a	9.89	9.89	9.92	10.00		
h	9.41	9.37	9.50	9.60		
V	922.32	970.47	932.98	971.52		
A	98.04	103.54	98.21	101.20		
C	1072.40	969.90	1030.50	985.60		
C/A	10.94	9.37	10.49	9.74		
<b>R</b>	<b>1.09</b>	<b>0.94</b>	<b>1.05</b>	<b>0.97</b>	<b>1.01</b>	<b>Mpa</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



## Anexo 2.5

Título: Resumen de resistencias a la compresión y humedades (promedio 4 muestras)

2017-05-02

2017-05-30

Muestra húmeda (g)	100.00
Muestra seca (g)	Varias
Agua (g)	Varias
Porcentaje de humedad	Varias

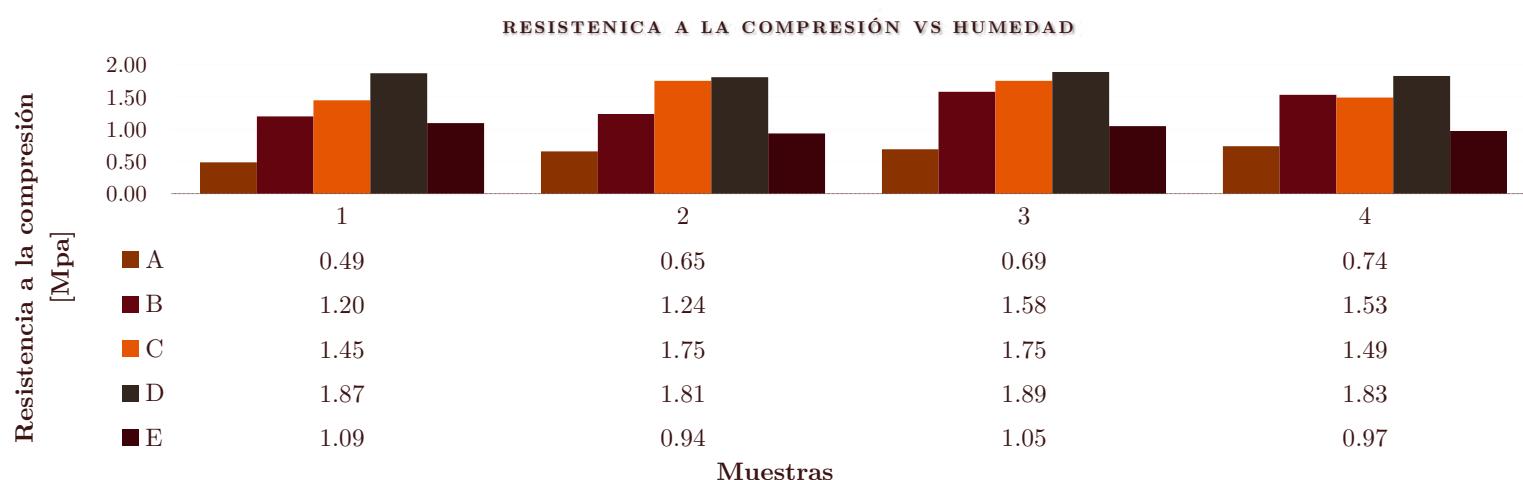
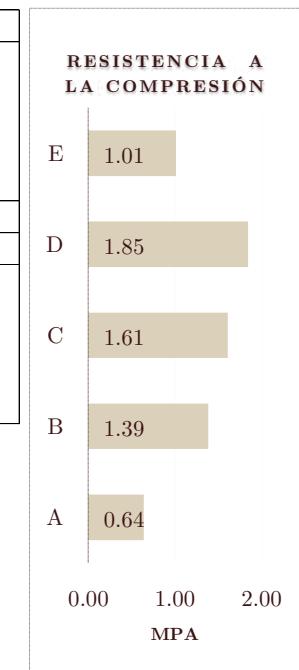
Tipo  
Modelo  
Vol aprox.

**II**  
**A-E**  
**1000**  
**cm**



# Mod	1	2	3	4	Promedio	Observaciones
A	0.49	0.65	0.69	0.74	<b>0.64</b>	
B	1.20	1.24	1.58	1.53	<b>1.39</b>	
C	1.45	1.75	1.75	1.49	<b>1.61</b>	
D	1.87	1.81	1.89	1.83	<b>1.85</b>	
E	1.09	0.94	1.05	0.97	<b>1.01</b>	

# Mod	Humedad	Promedio	Observaciones
A	0.27	<b>0.27</b>	
B	0.30	<b>0.30</b>	
C	0.42	<b>0.42</b>	
D	0.46	<b>0.46</b>	
E	0.50	<b>0.50</b>	





## Anexo 3

Título: Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-04-26

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	351.61
Agua (g)	148.39
Porcentaje de humedad	42.20%

Tipo **III**  
 Modelo -  
 Vol aprox. **4500**  
**cm**

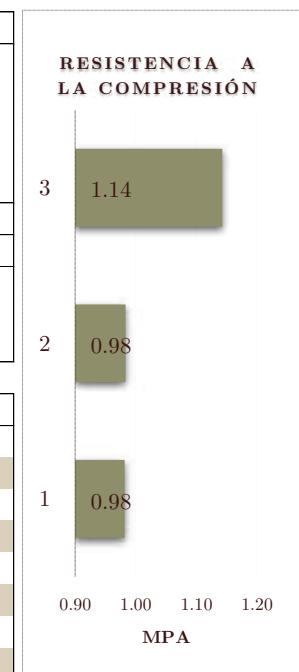


# día	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	Promedio	Observaciones
0	7374.45	7506.10	7592.31	<b>7490.95</b>	
7	-	-	-		
14	-	-	-		Peso (g)
21	-	-	-		
28	6330.00	6443.00	6517.00	<b>6430.00</b>	

# día	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	Promedio	Observaciones
0	33.45	34.05	34.44	<b>33.98</b>	Densidad seca
0	1.58	1.63	1.54	<b>1.58</b>	Densidad húmeda
28	49.56	50.03	50.97	<b>50.19</b>	Densidad húmeda

#	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	Promedio	Observaciones
l	10.20	10.12	10.80		
a	30.10	30.00	30.10		
h	15.19	15.18	15.15		
V	4664.40	4610.77	4924.96		
A	307.05	303.72	325.08		
C	3013.80	2986.80	3716.00		
C/A	9.82	9.83	11.43		
<b>R</b>	<b>0.98</b>	<b>0.98</b>	<b>1.14</b>	<b>1.04</b>	<b>Mpa</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).





## Anexo 4.0

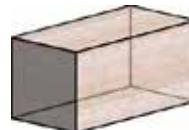
Título: Perdida de humedad diaria resumen y cálculos

2017-03-22

2017-04-19

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	348.91
Agua (g)	151.09
Porcentaje de humedad	43.30%

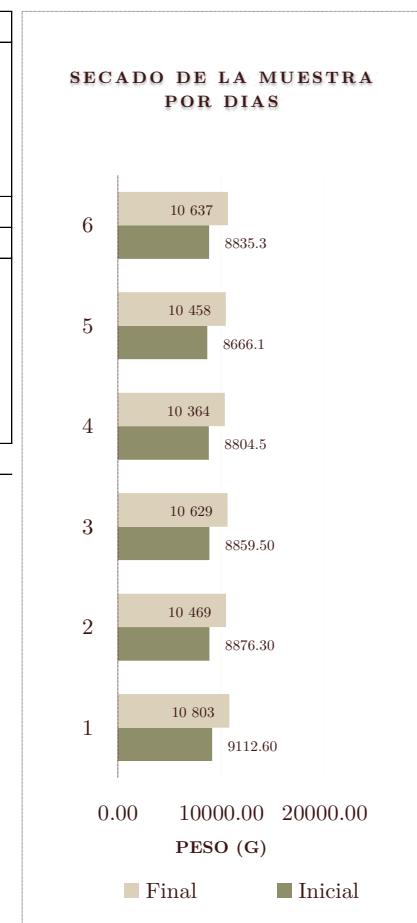
Tipo IV  
 Modelo A  
 Vol aprox. 6750  
 cm



# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	^	*	Observaciones
0	10803.10	10469.00	10628.80	10363.90	10457.50	10637.00	10559.88	0.00%	100.00%	
7	10158.6	9881.2	9903.1	9731.1	9840.4	9988.3	9917.12	6.09%	93.91%	
14	9553.8	9323.4	9315.3	9219.8	9219.8	9375.8	9334.65	5.52%	88.40%	Peso (g)
21	9301.8	9065.9	9070.8	8989.2	8912.3	9074.7	9069.12	2.51%	85.88%	
28	9112.60	8876.30	8859.50	8804.5	8666.1	8835.3	8859.05	1.99%	83.89%	

# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.91	0.88	0.89	0.87	0.88	0.89	0.89	Densidad seca
0	1.58	1.54	1.56	1.52	1.53	1.56	1.55	Densidad húmeda
7	1.49	1.45	1.45	1.43	1.44	1.47	1.45	Densidad húmeda
14	1.40	1.37	1.37	1.35	1.35	1.38	1.37	Densidad húmeda
21	1.36	1.33	1.33	1.32	1.31	1.33	1.33	Densidad húmeda
28	1.34	1.30	1.30	1.29	1.27	1.30	1.30	Densidad húmeda

Nota: # = número de muestr; ^ = porcentaje c/7d; \* = porcentaje de disminución.





## Anexo 4.0.1

2017-03-22

2017-04-19

**Título:** Perdida de humedad diaria completaTipo  
Modelo  
**IV  
A**

# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	^	*	Observaciones
0	10803.10	10469.00	10363.90	10457.50	10637.00	10628.80	<b>10559.88</b>	0.00%	100.00%	
1	10635	10316.2	10184.3	10300.1	10409.3	10438.8	<b>10380.62</b>	1.70%	98.30%	
2	10494.5	10199.1	10063.1	10229.4	10389.6	10337.2	<b>10285.48</b>	2.60%	97.40%	
3	10458.4	10162.4	10009.7				<b>10210.17</b>	3.31%	96.69%	
4							-			
5							-			
6				9915	10069.5	9982.4	<b>9988.97</b>	5.41%	94.59%	
7	10158.6	9881.2	9731.1	9840.4	9988.3	9903.1	<b>9917.12</b>	6.09%	93.91%	
8	10075.90	9809.30	9665.90				<b>9850.37</b>	6.72%	93.28%	
9							-			
10							-			
11							-			
12							-			
13				9291.5	9445.9	9372.9	<b>9370.10</b>	11.27%	88.73%	
14	9553.8	9323.4	9219.8	9219.8	9375.8	9315.3	<b>9334.65</b>	11.60%	88.40%	Peso (g)
15	9496.9	9272.2	9173.9	9135.4	9292.6	9249	<b>9270.00</b>	12.21%	87.79%	
16	9439.1	9209.1	9116.9	9115.1	9273.3	9234.6	<b>9231.35</b>	12.58%	87.42%	
17	9424.9	9194.2	9103.6				<b>9240.90</b>	12.49%	87.51%	
18							-			
19				8981.9	9144.6	9112.7	<b>9079.73</b>	14.02%	85.98%	
20	9327	9089.9	9011.1	8950.4	9113.5	9101.7	<b>9098.93</b>	13.83%	86.17%	
21	9301.8	9065.9	8989.2	8912.3	9074.7	9070.8	<b>9069.12</b>	14.12%	85.88%	
22	9272	9036	8961.9	8875.5	9038.6	9041.3	<b>9037.55</b>	14.42%	85.58%	
23	9242.8	9007.7	8934.9	8851.5	9016.4	9022.7	<b>9012.67</b>	14.65%	85.35%	
24	9226	8989.6	8918.4				<b>9044.67</b>	14.35%	85.65%	
25							-			
26				8735.6	8965.3	8920.7	<b>8873.87</b>	15.97%	84.03%	
27	9134	8898.2	8826.1	8700	8870.9	8890	<b>8886.53</b>	15.85%	84.15%	
28	9112.6	8876.3	8804.5	8666.1	8835.3	8859.5	<b>8859.05</b>	16.11%	83.89%	



**Nota:** # = número de muestr; ^ = porcentaje acumulado disminuido c/d; \* = porcentaje de disminución acumulado c/d.



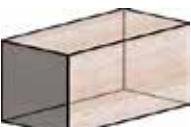
## Anexo 4.0.2

Título: Perdida de humedad y variacion de resistencia

2017-05-03

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	346.92
Aqua (g)	153.08
Porcentaje de humedad	44.13%

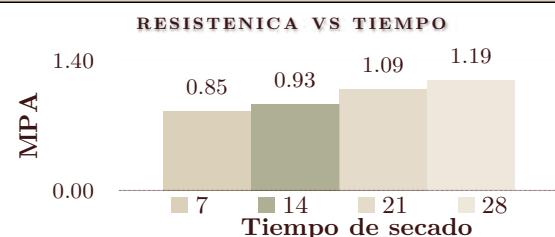
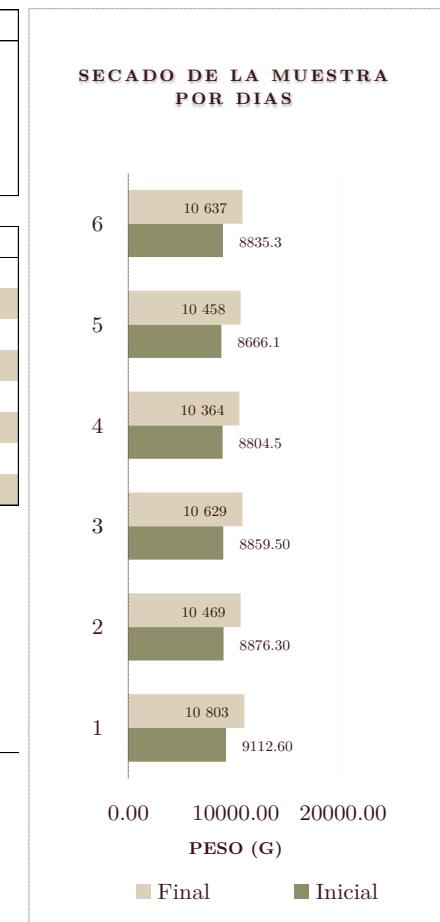
Tipo IV  
Modelo A 1  
Vol aprox. 6750 cm



# dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10324.60	10772.90	10885.90	10456.70	10682.60	10491.70	10028.60	9966.50	10156.10
7								9182.90	9296.30
14						9299.80	8842.20		
21		9264.70	9410.40						
28				8941.00	9122.10				

# dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	30.00	29.90	30.00	29.85	29.90	29.95	30.00	29.88
a	-	15.33	15.04	14.94	14.85	15.01	14.96	14.90	15.03
h	-	12.23	16.05	15.57	15.69	14.71	15.24	15.20	15.70
V	-	5624.58	7216.72	6978.47	6954.95	6601.83	6828.31	6794.40	7050.81
A	-	459.90	449.70	448.20	443.27	448.80	448.05	447.00	449.10
C	-	4664.10	5268.50	5217.10	5353.70	4281.20	4072.90	3751.30	3882.00
C/A	-	10.14	11.72	11.64	12.08	9.54	9.09	8.39	8.64
R	-	<b>1.01</b>	<b>1.17</b>	<b>1.16</b>	<b>1.21</b>	<b>0.95</b>	<b>0.91</b>	<b>0.84</b>	<b>0.86</b>

# dia	A 1a	A 1b	Promedio
7	<b>0.84</b>	<b>0.86</b>	<b>0.85</b>
14	<b>0.95</b>	<b>0.91</b>	<b>0.93</b>
21	<b>1.01</b>	<b>1.17</b>	<b>1.09</b>
28	<b>1.16</b>	<b>1.21</b>	<b>1.19</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>);C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



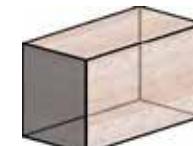
## Anexo 4.1

Título: Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-03-07

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	350.11
Agua (g)	149.89
Porcentaje de humedad	<b>42.81%</b>

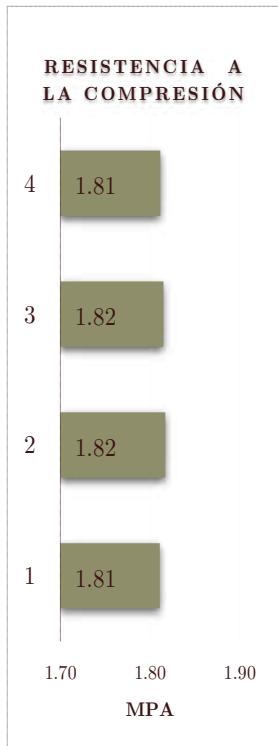
Tipo IV  
Modelo A  
Vol aprox. 6750 cm



#dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	10803.10	10469.00	10428.80	10363.90	10457.50	10637.00	<b>10526.55</b>	
7	10158.60	9881.20	9903.10	9731.10	9840.40	9988.30	<b>9917.12</b>	
14	9553.80	9323.40	9315.30	9219.80	9219.80	9375.80	<b>9334.65</b>	Peso (g)
21	9301.80	9065.90	9070.80	8989.20	8912.30	9074.70	<b>9069.12</b>	
28	9112.60	8876.30	8859.50	8804.50	8666.10	8835.30	<b>8859.05</b>	

#dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.91	0.88	0.88	0.87	0.88	0.89	<b>0.88</b>	Densidad seca
0	1.58	1.54	1.56	1.56	1.57	1.58	<b>1.57</b>	Densidad húmeda
28	1.34	1.30	1.32	1.33	1.30	1.31	<b>1.32</b>	Densidad húmeda

#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	30.00	29.90	30.00	29.90	29.90	29.90		
a	14.90	15.00	14.92	14.90	14.96	14.95		
h	15.25	15.18	14.95	14.90	14.85	15.10		
V	6816.75	6808.23	6691.62	6638.10	6642.46	6749.78		
A	447.00	448.50	447.60	445.51	447.30	447.01		
C	8095.00	8149.00	8124.60	8071.50	-	-		
C/A	18.11	18.17	18.15	18.12	-	-		
<b>R</b>	<b>1.81</b>	<b>1.82</b>	<b>1.82</b>	<b>1.81</b>	-	-	<b>1.81</b>	Mpa



Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup> ); A = área de carga(cm<sup>2</sup> ); C = carga Kg/cm<sup>2</sup> ; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



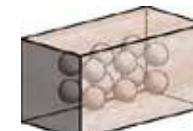
## Anexo 4.2

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-03-09

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	348.69
Agua (g)	151.31
Porcentaje de humedad	<b>43.39%</b>

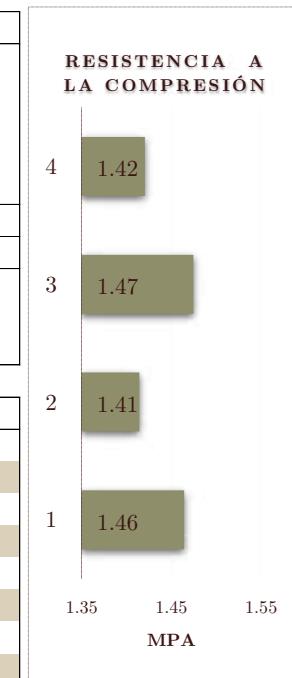
Tipo  
 IV  
 Modelo  
 B  
 Vol aprox.  
**6750**  
 cm



# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	10183.70	10210.60	10260.10	10504.20	9720.30	10022.40	<b>10150.22</b>	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		Peso (g)
21	-	-	-	-	-	-		
28	8343.60	8226.10	8273.90	8563.70	7994.40	8217.50	<b>8269.87</b>	

# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.87	0.87	0.87	0.89	0.83	0.85	<b>0.86</b>	Densidad seca
0	1.54	1.53	1.55	1.53	1.47	1.47	<b>1.52</b>	Densidad húmeda
28	1.26	1.24	1.25	1.25	1.21	1.20	<b>1.23</b>	Densidad húmeda

#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	29.85	29.90	29.90	29.80	29.90	29.70		
a	14.94	14.98	14.92	15.28	14.95	15.00		
h	14.85	14.87	14.81	15.06	14.80	15.32		
V	6622.49	6660.30	6606.86	6857.48	6615.67	6825.06		
A	445.96	447.90	446.11	455.34	447.01	445.50		
C	6531.00	6335.20	6579.40	6468.70	-	-		
C/A	14.64	14.14	14.75	14.21	-	-		
<b>R</b>	<b>1.46</b>	<b>1.41</b>	<b>1.47</b>	<b>1.42</b>	-	-	<b>1.44</b>	Mpa



Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



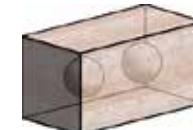
## Anexo 4.3

Título: Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

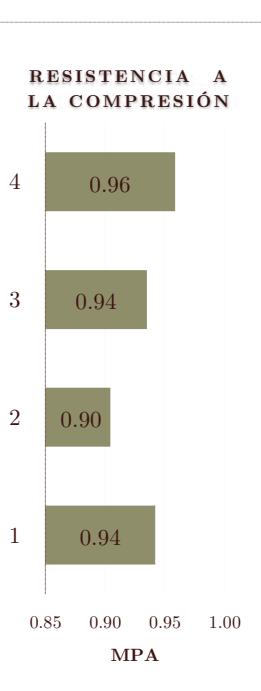
2017-03-09

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	352.10
Agua (g)	147.90
Porcentaje de humedad	<b>42.01%</b>

Tipo  
IV  
Modelo  
C  
Vol aprox.  
**6750**  
cm



dia #	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	10369.20	10191.30	10235.30	10110.70	9898.90	9798.60	<b>10100.67</b>	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		
21	-	-	-	-	-	-		
28	8317.20	8203.30	8170.80	8136.70	8310.10	8085.40	<b>8203.92</b>	



#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	27.75	28.75	29.90	29.95	29.90	29.80		
a	14.96	15.00	15.08	14.93	15.01	14.94		
h	15.98	14.98	15.12	14.62	15.17	15.24		
V	6633.94	6460.13	6817.49	6537.38	6808.28	6782.80		
A	415.14	431.25	450.89	447.15	448.80	445.21		
C	3910.50	3900.00	4216.20	4286.10	-	-		
C/A	9.42	9.04	9.35	9.59	-	-		
<b>R</b>	<b>0.94</b>	<b>0.90</b>	<b>0.94</b>	<b>0.96</b>	-	-	<b>0.93</b>	<b>Mpa</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



## Anexo 4.4

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-03-15

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	345.60
Aqua (g)	154.40
Porcentaje de humedad	<b>44.68%</b>

Tipo IV  
 Modelo D  
 Vol aprox. 6750  
 cm

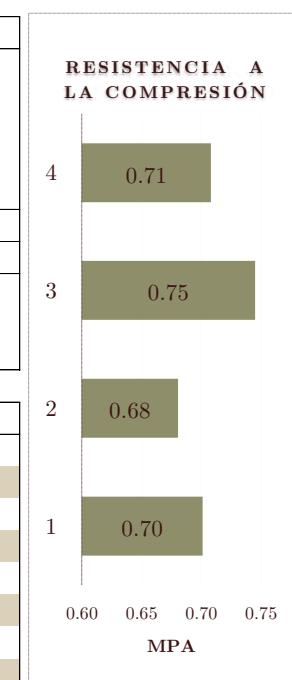


# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	9841.60	9690.80	9541.10	9546.80	9069.60	9575.60	<b>9544.25</b>	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		
21	-	-	-	-	-	-		Peso (g)
28	8615.30	8506.40	8352.00	7839.30	7501.90	7894.10	<b>8118.17</b>	

# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.78	0.77	0.75	0.75	0.72	0.76	<b>0.75</b>	Densidad seca
0	1.42	1.38	1.38	1.40	1.33	1.41	<b>1.39</b>	Densidad húmeda
28	1.24	1.21	1.21	1.15	1.10	1.16	<b>1.18</b>	Densidad húmeda

#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	29.95	29.95	29.85	29.90	29.85	29.80		
a	14.87	14.96	14.94	14.90	14.91	14.88		
h	15.61	15.64	15.50	15.35	15.27	15.35		
V	6952.01	7007.53	6912.36	6838.58	6796.12	6806.56		
A	445.36	448.05	445.96	445.51	445.06	443.42		
C	3123.30	3050.00	3322.90	3155.00	-	-		
C/A	7.01	6.81	7.45	7.08	-	-		
R	<b>0.70</b>	<b>0.68</b>	<b>0.75</b>	<b>0.71</b>	-	-	<b>0.71</b>	Mpa

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup> ); A = área de carga(cm<sup>2</sup> ); C = carga Kg/cm<sup>2</sup> ; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).





## Anexo 4.5

Título: Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-04-21

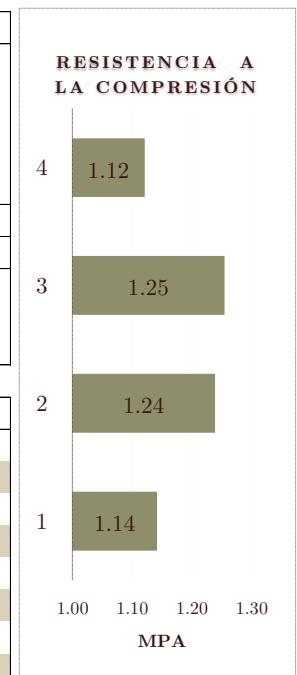
Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	344.97
Agua (g)	155.03
Porcentaje de humedad	44.94%

Tipo IV  
Modelo E  
Vol aprox. 6750 cm



dia #	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	10220.10	9839.80	9897.60	9812.60	9889.50	9573.00	9872.10	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		
21	-	-	-	-	-	-		
28	8382.80	8307.20	8328.20	8218.80	8235.40	7934.80	8234.53	

dia #	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.83	0.80	0.80	0.80	0.80	0.78	0.80	Densidad seca
0	1.50	1.45	1.51	1.46	1.49	1.40	1.47	Densidad húmeda
28	1.23	1.22	1.27	1.22	1.24	1.16	1.22	Densidad húmeda



#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	29.85	29.90	27.75	29.85	29.75	29.70		
a	14.88	14.92	14.92	14.89	14.89	14.94		
h	15.34	15.23	15.86	15.17	15.03	15.45		
V	6813.54	6794.22	6566.52	6742.56	6657.95	6855.90		
A	444.17	446.11	414.03	444.47	442.98	443.75		
C	5071.70	5527.80	5195.20	4983.90	-	-		
C/A	11.42	12.39	12.55	11.21	-	-		
<b>R</b>	<b>1.14</b>	<b>1.24</b>	<b>1.25</b>	<b>1.12</b>	-	-	<b>1.19</b>	<b>Mpa</b>

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup> ); A = área de carga(cm<sup>2</sup> ); C = carga Kg/cm<sup>2</sup> ; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



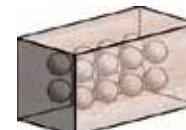
## Anexo 4.6

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-04-21

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	344.97
Agua (g)	155.03
Porcentaje de humedad	44.94%

Tipo IV  
 Modelo F  
 Vol aprox. 6750  
 cm

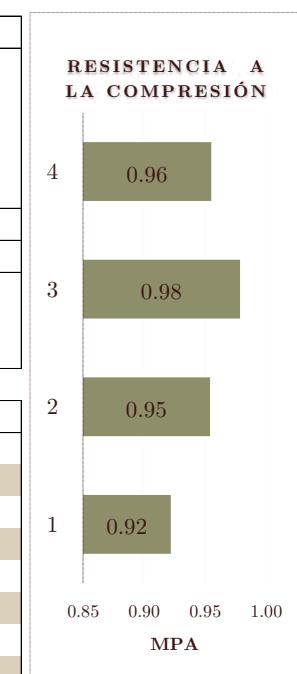


# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	9591.70	10280.10	9429.90	9786.80	9662.60	9663.80	<b>9735.82</b>	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		
21	-	-	-	-	-	-		
28	7837.30	8643.00	7973.40	8211.30	7950.90	7902.40	<b>8086.38</b>	

# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.78	0.84	0.77	0.80	0.79	0.79	<b>0.80</b>	Densidad seca
0	1.42	1.53	1.43	1.42	1.41	1.44	<b>1.44</b>	Densidad húmeda
28	1.16	1.29	1.21	1.19	1.16	1.18	<b>1.20</b>	Densidad húmeda

#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
1	29.78	29.85	29.75	29.90	29.90	29.70		
a	15.07	14.98	14.91	15.05	14.95	15.00		
h	15.07	15.03	14.85	15.31	15.36	15.07		
V	6757.56	6720.71	6587.05	6889.42	6866.00	6711.46		
A	448.56	447.15	443.57	450.00	447.01	445.50		
C	4135.60	4266.80	4340.90	4298.50	-	-		
C/A	9.22	9.54	9.79	9.55	-	-		
R	<b>0.92</b>	<b>0.95</b>	<b>0.98</b>	<b>0.96</b>	-	-	<b>0.95</b>	Mpa

Nota: # número de muestra; 1 = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).





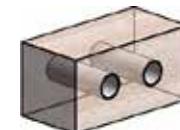
## Anexo 4.7

Título: Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-04-21

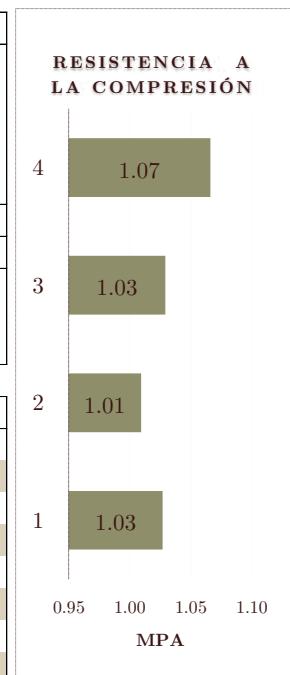
Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	344.97
Agua (g)	155.03
Porcentaje de humedad	44.94%

Tipo  
IV  
Modelo  
G  
Vol aprox.  
**6750**  
cm



# día	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	9718.70	9385.30	9220.80	9341.60	9051.00	9277.80	<b>9332.53</b>	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		
21	-	-	-	-	-	-		Peso (g)
28	7950.10	7577.50	7541.60	7185.80	7273.50	7659.00	<b>7531.25</b>	

# día	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.78	0.77	0.76	0.77	0.74	0.76	<b>0.76</b>	Densidad seca
0	1.42	1.40	1.35	1.40	1.36	1.33	<b>1.38</b>	Densidad húmeda
28	1.16	1.13	1.11	1.08	1.10	1.10	<b>1.11</b>	Densidad húmeda



#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	30.00	29.75	29.90	30.00	30.00	30.00		
a	14.86	14.91	14.96	14.95	14.87	14.95		
h	15.32	15.10	15.23	14.90	14.88	15.50		
V	6829.66	6697.94	6810.20	6682.65	6637.97	6951.75		
A	445.80	443.57	447.30	448.50	446.10	448.50		
C	4578.40	4477.60	4604.30	4781.80	-	-		
C/A	10.27	10.09	10.29	10.66	-	-		
<b>R</b>	<b>1.03</b>	<b>1.01</b>	<b>1.03</b>	<b>1.07</b>	-	-	<b>1.03</b>	Mpa

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



## Anexo 4.8

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-04-22

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	348.80
Agua (g)	151.20
Porcentaje de humedad	<b>43.35%</b>

Tipo **IV**  
 Modelo **H**  
 Vol aprox. **6750**  
 cm

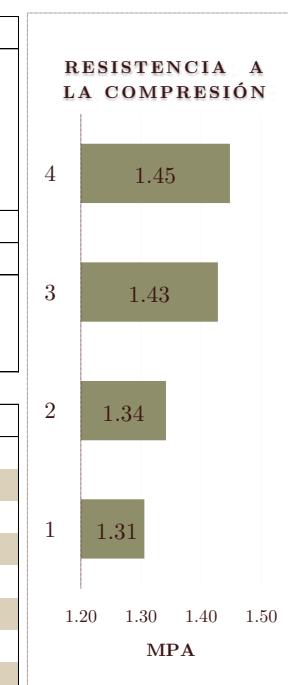


# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	10018.40	9295.90	9191.40	9455.70	9420.20	9149.80	<b>9421.90</b>	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		Peso (g)
21	-	-	-	-	-	-		
28	8358.70	7737.10	7495.00	7736.20	7879.50	7561.50	<b>7794.67</b>	

# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.82	0.76	0.75	0.77	0.77	0.75	<b>0.77</b>	Densidad seca
0	1.44	1.34	1.35	1.38	1.37	1.33	<b>1.37</b>	Densidad húmeda
28	1.20	1.11	1.10	1.13	1.15	1.10	<b>1.13</b>	Densidad húmeda

#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	29.90	29.75	29.80	30.00	30.00	29.90		
a	14.97	15.08	14.98	14.94	14.95	14.98		
h	15.50	15.50	15.30	15.30	15.30	15.40		
V	6937.85	6953.77	6829.98	6857.46	6862.05	6897.69		
A	447.60	448.63	446.40	448.20	448.50	447.90		
C	5845.50	6019.80	6375.60	6490.50	-	-		
C/A	13.06	13.42	14.28	14.48	-	-		
R	<b>1.31</b>	<b>1.34</b>	<b>1.43</b>	<b>1.45</b>	-	-	<b>1.38</b>	Mpa

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).





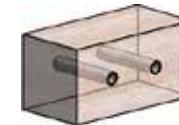
## Anexo 4.9

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

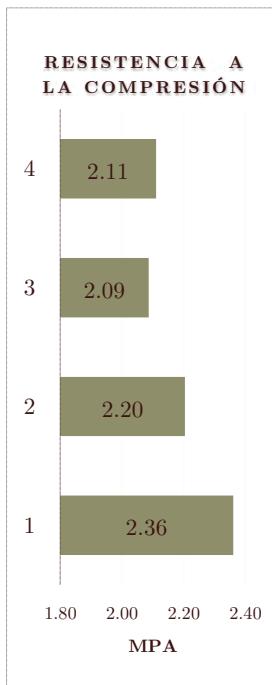
2017-04-22

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	348.80
Agua (g)	151.20
Porcentaje de humedad	<b>43.35%</b>

Tipos  
Modelo  
Vol. aprox.  
**IV**  
**I**  
**6750**  
cm



# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	9757.50	9800.90	9788.80	9534.80	9102.90	9252.50	<b>9539.57</b>	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		
21	-	-	-	-	-	-		Peso (g)
28	7946.50	7994.30	7944.00	7778.00	7480.40	7622.80	<b>7794.33</b>	



#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90	29.90		
a	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98	14.98		
h	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40	15.40		
V	6897.69	6897.69	6897.69	6897.69	6897.69	6897.69		
A	447.90	447.90	447.90	447.90	447.90	447.90		
C	10576.20	9874.10	9349.40	9454.70	-	-		
C/A	23.61	22.05	20.87	21.11	-	-		
<b>R</b>	<b>2.36</b>	<b>2.20</b>	<b>2.09</b>	<b>2.11</b>	-	-	<b>2.19</b>	Mpa

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).



## Anexo 4.10

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

2017-05-15

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	345.12
Agua (g)	154.88
Porcentaje de humedad	44.88%

Tipo IV  
 Modelo J  
 Vol aprox. 6750  
 cm

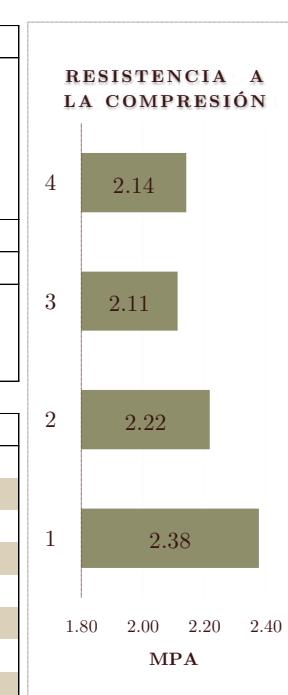


# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	10499.90	10241.80	10414.80	10663.60	10635.60	10594.10	<b>10508.30</b>	
7	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-		Peso (g)
21	-	-	-	-	-	-		
28	8201.30	8248.20	8423.50	8389.50	8367.20	8350.10	<b>8329.97</b>	

# dia	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
0	0.90	0.88	0.90	0.92	0.91	0.91	<b>0.90</b>	Densidad seca
0	1.63	1.60	1.57	1.66	1.66	1.60	<b>1.62</b>	Densidad húmeda
28	1.27	1.29	1.27	1.31	1.30	1.26	<b>1.28</b>	Densidad húmeda

#	1	2	3	4	5	6	Promedio	Observaciones
l	29.90	29.90	29.80	29.60	29.60	29.80		
a	14.88	14.89	14.85	14.92	14.92	14.87		
h	14.46	14.40	15.01	14.55	14.55	14.90		
V	6433.43	6411.04	6642.38	6425.75	6425.75	6602.58		
A	444.91	445.21	442.53	441.63	441.63	443.13		
C	10576.20	9874.10	9349.40	9454.70	-	-		
C/A	23.77	22.18	21.13	21.41	-	-		
R	<b>2.38</b>	<b>2.22</b>	<b>2.11</b>	<b>2.14</b>	-	-	<b>2.21</b>	Mpa

Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup> ); A = área de carga(cm<sup>2</sup> ); C = carga Kg/cm<sup>2</sup> ; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).





## Anexo 5

**Título:** Perdida de humedad y variacion de resistencia2017-04-05  
2017-06-03

Muestra húmeda (g)	500.00
Muestra seca (g)	354.05
Agua (g)	145.95
Porcentaje de humedad	<b>41.22%</b>

Tipos  
Modelo  
Vol aprox.

**V**  
-

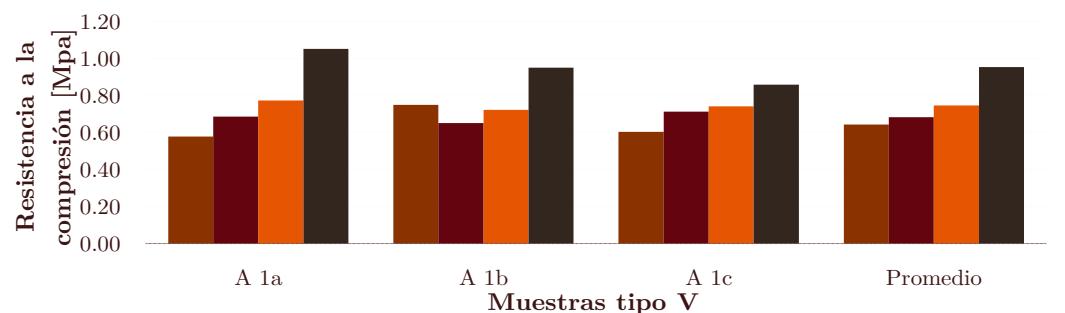
**1570.796**  
**cm**



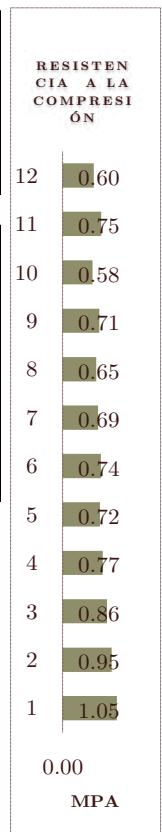
#dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	2626.60	2604.60	2554.30	2570.10	2570.10	2555.30	2555.90	2578.70	2530.00	2517.80	2540.10	2520.10
7										2045.26	2075.99	2053.83
14												
21							2091.00	2118.80	2075.00			
28	2269.50	2250.00	2197.10		2105.90	2121.00	2114.50					

#dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
h	19.90	19.90	20.00	19.90	19.90	19.80	19.97	19.06	19.94	19.87	19.99	19.97
$\phi$	10.03	10.06	10.06	10.03	10.03	10.03	10.05	10.01	10.08	10.19	10.09	10.09
r	5.02	5.03	5.03	5.02	5.02	5.02	5.03	5.01	5.04	5.10	5.05	5.05
V	1572.33	1581.75	1589.70	1572.33	1572.33	1564.43	1584.16	1499.96	1591.24	1621.41	1599.75	1596.88
A	79.01	79.49	79.49	79.01	79.01	79.01	79.33	78.70	79.80	81.58	80.02	79.98
C	831.00	755.90	682.10	610.50	570.70	585.20	543.80	511.60	568.10	471.70	599.10	482.90
C/A	10.52	9.51	8.58	7.73	7.22	7.41	6.86	6.50	7.12	5.78	7.49	6.04
R	<b>1.05</b>	<b>0.95</b>	<b>0.86</b>	<b>0.77</b>	<b>0.72</b>	<b>0.74</b>	<b>0.69</b>	<b>0.65</b>	<b>0.71</b>	<b>0.58</b>	<b>0.75</b>	<b>0.60</b>

#dia	A 1a	A 1b	A 1c	Promedio
7	<b>0.58</b>	<b>0.75</b>	<b>0.60</b>	<b>0.64</b>
14	<b>0.69</b>	<b>0.65</b>	<b>0.71</b>	<b>0.68</b>
21	<b>0.77</b>	<b>0.72</b>	<b>0.74</b>	<b>0.75</b>
28	<b>1.05</b>	<b>0.95</b>	<b>0.86</b>	<b>0.95</b>



Nota: # número de muestra; h = altura(cm);  $\phi$  = diámetro(cm); r =  $\phi/2$  (cm); V = volumen  $\pi^*r^*h$  (cm<sup>3</sup>); A = área de carga  $\pi^*r^2$  (cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R = resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).





## Anexo 6

**Título:** Resumen de pesos y cálculos (para cada modelo)

	VI	VII
Muestra húmeda (g)	500.00	500.00
Muestra seca (g)	340.29	338.33
Agua (g)	159.71	161.67
Porcentaje de humedad	<b>46.93%</b>	<b>47.78%</b>

Tipo  
Modelo  
Vol aprox.

**VI-VII**  
-  
**72000-61200**  
cm



2017-06-06

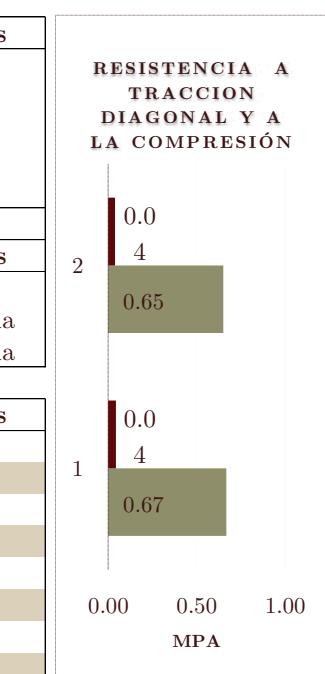
2017-05-02

# dia	1	2	Promedio	3	4	Promedio	Observaciones
0	107190.00	94460.00	<b>100825.00</b>	82410.00	88410.00	<b>85410.00</b>	
7	-	-		-	-		
14	-	-		-	-		Peso (g)
21	-	-		-	-		
28	101510.00	89010.00	<b>95260.00</b>	73560.00	80900.00	<b>77230.00</b>	

# dia	1	2	Promedio	3	4	Promedio	Observaciones
0	0.79	0.70	<b>0.74</b>	0.71	0.77	<b>0.74</b>	Densidad seca
0	1.47	1.27	<b>1.37</b>	1.33	1.42	<b>1.38</b>	Densidad húmeda
28	103.15	89.60	<b>96.38</b>	1.19	1.30	<b>1.25</b>	Densidad húmeda

#	1	2	Promedio	3	4	Promedio	Observaciones
l	60.05	60.50		60.50	60.50		
a	20.20	20.35		20.23	20.25		
h	60.00	60.30		50.50	50.80		
V	72780.60	74239.85		61813.82	62230.20		
A	1213.01	1231.18		1224.04	1225.00		
C	8095.00	8016.00		530.00	470.00		
C/A	6.67	6.51		0.43	0.38		
<b>R</b>	<b>0.67</b>	<b>0.65</b>	<b>0.66</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	<b>0.04</b>	Mpa

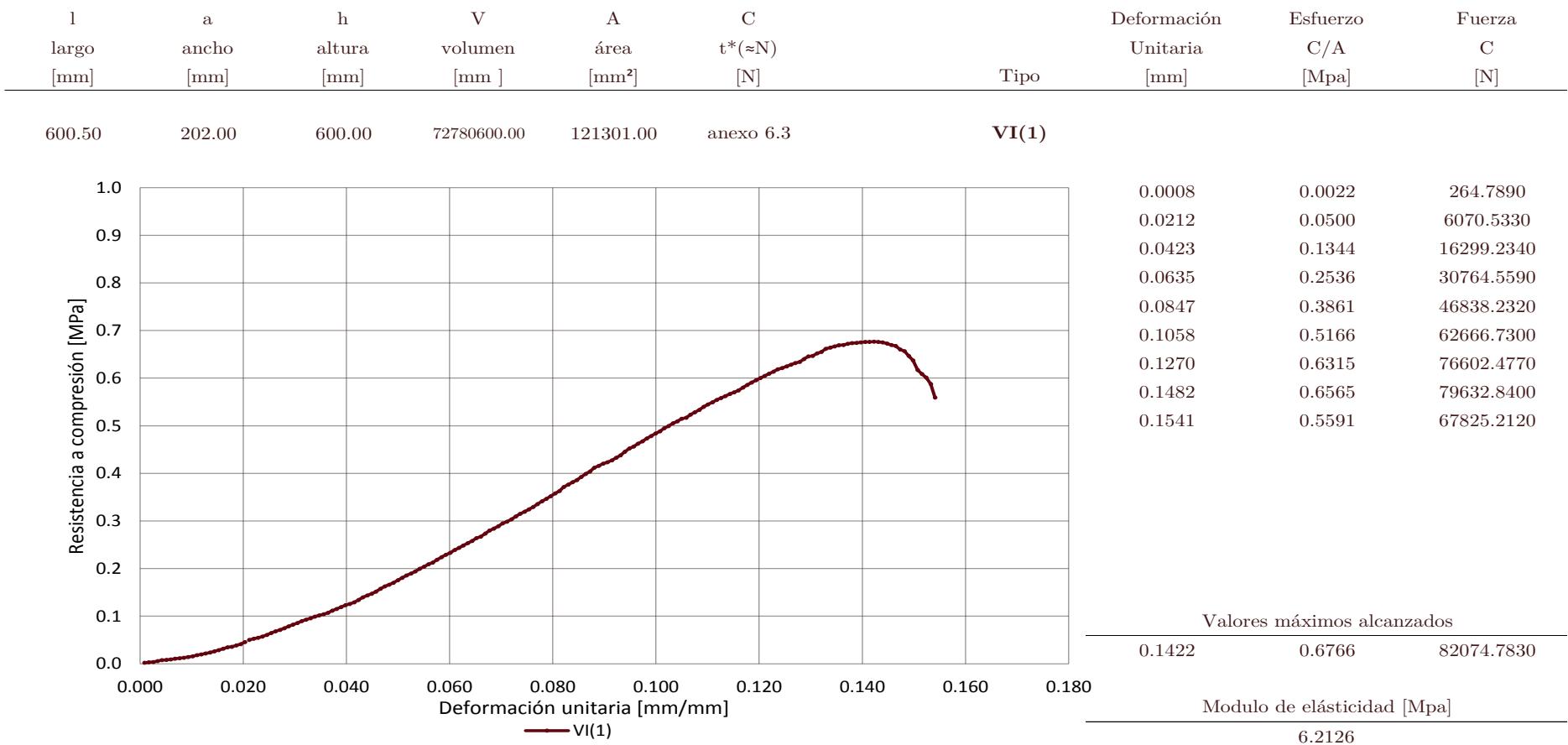
Nota: # número de muestra; l = largo(cm); a = ancho(cm); h = altura(cm); V = volumen(cm<sup>3</sup>); A = área de carga(cm<sup>2</sup>); C = carga Kg/cm<sup>2</sup>; R: resistencia a la compresión(Mpa); Peso (g).





## Anexo 6.1

**Título:** Resumen de resistencia a la compresión para muretes



**Nota:** ≈N = al valor para transformar Kg/cm a Newtons[N]; la deformación unitaria esta detallada en el anexo especificado.

los valores de la tabla fueron extraidos del anexo especificado y solo es un resumen de todos los valores (C/50 de los valores registrados en el laboratorio)



## Anexo 6.2

**Título:** Resumen de resistencia a la compresión para muretes



2017-05-02

2017-06-06

largo [mm]	a [mm]	h [mm]	V [mm ]	A [mm <sup>2</sup> ]	C [N]		Deformación Unitaria [mm]	Esfuerzo C/A [Mpa]	Fuerza C [N]				
605.00	203.50	603.00	74239852.50	123117.50	anexo 6.3	<b>VI(2)</b>							
<b>Valores máximos alcanzados</b>													
				0.1202	0.5832	71806.8540	<b>Modulo de elásticidad [Mpa]</b>						
4.1001													

Nota:  $\approx N$  = al valor para transformar Kg/cm<sup>2</sup> a Newtons[N]; la deformación unitaria esta detallada en el anexo especificado.

los valores de la tabla fueron extraidos del anexo especificado y solo es un resumen de todos los valores (C/50 de los valores registrados en el laboratorio)



## Anexo 6.3

2017-06-06

Resistencia a la compresión directa y cálculos

VI

1

2

D	Deformación Unitaria ( $\delta$ ) [mm]	t	Esfuerzo $\epsilon = \delta/h$ (d) [Mpa]	Fuerza [N]	t	Esfuerzo $\epsilon = \delta/h$ (d) [Mpa]	Fuerza [N]
2	<b>0.00085</b>	27	<b>0.00218</b>	264.78900	36	<b>0.00287</b>	353.05200
4	<b>0.00169</b>	41	<b>0.00331</b>	402.08700	69	<b>0.00550</b>	676.68300
6	<b>0.00254</b>	48	<b>0.00388</b>	470.73600	102	<b>0.00812</b>	1000.31400
8	<b>0.00339</b>	75	<b>0.00606</b>	735.52500	131	<b>0.01043</b>	1284.71700
10	<b>0.00423</b>	95	<b>0.00768</b>	931.66500	153	<b>0.01219</b>	1500.47100
12	<b>0.00508</b>	105	<b>0.00849</b>	1029.73500	172	<b>0.01370</b>	1686.80400
14	<b>0.00593</b>	116	<b>0.00938</b>	1137.61200	195	<b>0.01553</b>	1912.36500
16	<b>0.00677</b>	133	<b>0.01075</b>	1304.33100	218	<b>0.01736</b>	2137.92600
18	<b>0.00762</b>	146	<b>0.01180</b>	1431.82200	230	<b>0.01832</b>	2255.61000
20	<b>0.00847</b>	160	<b>0.01294</b>	1569.12000	241	<b>0.01920</b>	2363.48700
22	<b>0.00931</b>	177	<b>0.01431</b>	1735.83900	245	<b>0.01952</b>	2402.71500
24	<b>0.01016</b>	197	<b>0.01593</b>	1931.97900	247	<b>0.01967</b>	2422.32900
26	<b>0.01101</b>	224	<b>0.01811</b>	2196.76800	255	<b>0.02031</b>	2500.78500
28	<b>0.01185</b>	245	<b>0.01981</b>	2402.71500	258	<b>0.02055</b>	2530.20600
30	<b>0.01270</b>	272	<b>0.02199</b>	2667.50400	272	<b>0.02167</b>	2667.50400
32	<b>0.01355</b>	292	<b>0.02361</b>	2863.64400	279	<b>0.02222</b>	2736.15300
34	<b>0.01439</b>	323	<b>0.02611</b>	3167.66100	289	<b>0.02302</b>	2834.22300
36	<b>0.01524</b>	354	<b>0.02862</b>	3471.67800	296	<b>0.02358</b>	2902.87200
38	<b>0.01609</b>	391	<b>0.03161</b>	3834.53700	303	<b>0.02414</b>	2971.52100
40	<b>0.01693</b>	432	<b>0.03493</b>	4236.62400	309	<b>0.02461</b>	3030.36300
42	<b>0.01778</b>	445	<b>0.03598</b>	4364.11500	320	<b>0.02549</b>	3138.24000
44	<b>0.01863</b>	479	<b>0.03873</b>	4697.55300	326	<b>0.02597</b>	3197.08200
46	<b>0.01947</b>	513	<b>0.04148</b>	5030.99100	343	<b>0.02732</b>	3363.80100
48	<b>0.02032</b>	564	<b>0.04560</b>	5531.14800	367	<b>0.02923</b>	3599.16900
50	<b>0.02117</b>	619	<b>0.05005</b>	6070.53300	381	<b>0.03035</b>	3736.46700
52	<b>0.02201</b>	653	<b>0.05279</b>	6403.97100	398	<b>0.03170</b>	3903.18600
54	<b>0.02286</b>	676	<b>0.05465</b>	6629.53200	415	<b>0.03306</b>	4069.90500
56	<b>0.02371</b>	707	<b>0.05716</b>	6933.54900	452	<b>0.03600</b>	4432.76400
58	<b>0.02455</b>	751	<b>0.06072</b>	7365.05700	452	<b>0.03600</b>	4432.76400
60	<b>0.02540</b>	802	<b>0.06484</b>	7865.21400	476	<b>0.03792</b>	4668.13200



62	<b>0.02625</b>	846	<b>0.06840</b>	8296.72200	496	<b>0.03951</b>	4864.27200
64	<b>0.02709</b>	880	<b>0.07115</b>	8630.16000	517	<b>0.04118</b>	5070.21900
66	<b>0.02794</b>	925	<b>0.07478</b>	9071.47500	557	<b>0.04437</b>	5462.49900
68	<b>0.02879</b>	972	<b>0.07858</b>	9532.40400	595	<b>0.04740</b>	5835.16500
70	<b>0.02963</b>	1020	<b>0.08247</b>	10003.14000	625	<b>0.04978</b>	6129.37500
72	<b>0.03048</b>	1061	<b>0.08578</b>	10405.22700	659	<b>0.05249</b>	6462.81300
74	<b>0.03133</b>	1111	<b>0.08982</b>	10895.57700	714	<b>0.05687</b>	7002.19800
76	<b>0.03217</b>	1145	<b>0.09257</b>	11229.01500	751	<b>0.05982</b>	7365.05700
78	<b>0.03302</b>	1186	<b>0.09589</b>	11631.10200	789	<b>0.06285</b>	7737.72300
80	<b>0.03387</b>	1230	<b>0.09944</b>	12062.61000	833	<b>0.06635</b>	8169.23100
82	<b>0.03471</b>	1261	<b>0.10195</b>	12366.62700	877	<b>0.06986</b>	8600.73900
84	<b>0.03556</b>	1288	<b>0.10413</b>	12631.41600	908	<b>0.07233</b>	8904.75600
86	<b>0.03641</b>	1329	<b>0.10745</b>	13033.50300	952	<b>0.07583</b>	9336.26400
88	<b>0.03725</b>	1380	<b>0.11157</b>	13533.66000	986	<b>0.07854</b>	9669.70200
90	<b>0.03810</b>	1428	<b>0.11545</b>	14004.39600	1037	<b>0.08260</b>	10169.85900
92	<b>0.03895</b>	1475	<b>0.11925</b>	14465.32500	1081	<b>0.08611</b>	10601.36700
94	<b>0.03979</b>	1523	<b>0.12313</b>	14936.06100	1122	<b>0.08937</b>	11003.45400
96	<b>0.04064</b>	1557	<b>0.12588</b>	15269.49900	1186	<b>0.09447</b>	11631.10200
98	<b>0.04149</b>	1598	<b>0.12920</b>	15671.58600	1220	<b>0.09718</b>	11964.54000
100	<b>0.04233</b>	1662	<b>0.13437</b>	16299.23400	1247	<b>0.09933</b>	12229.32900
102	<b>0.04318</b>	1730	<b>0.13987</b>	16966.11000	1281	<b>0.10204</b>	12562.76700
104	<b>0.04403</b>	1778	<b>0.14375</b>	17436.84600	1322	<b>0.10530</b>	12964.85400
106	<b>0.04487</b>	1822	<b>0.14731</b>	17868.35400	1373	<b>0.10937</b>	13465.01100
108	<b>0.04572</b>	1876	<b>0.15167</b>	18397.93200	1431	<b>0.11399</b>	14033.81700
110	<b>0.04657</b>	1948	<b>0.15749</b>	19104.03600	1482	<b>0.11805</b>	14533.97400
112	<b>0.04741</b>	2012	<b>0.16267</b>	19731.68400	1513	<b>0.12052</b>	14837.99100
114	<b>0.04826</b>	2053	<b>0.16598</b>	20133.77100	1557	<b>0.12402</b>	15269.49900
116	<b>0.04911</b>	2104	<b>0.17011</b>	20633.92800	1615	<b>0.12864</b>	15838.30500
118	<b>0.04995</b>	2172	<b>0.17560</b>	21300.80400	1649	<b>0.13135</b>	16171.74300
120	<b>0.05080</b>	2233	<b>0.18053</b>	21899.03100	1698	<b>0.13526</b>	16652.28600
122	<b>0.05165</b>	2294	<b>0.18547</b>	22497.25800	1737	<b>0.13836</b>	17034.75900
124	<b>0.05249</b>	2345	<b>0.18959</b>	22997.41500	1778	<b>0.14163</b>	17436.84600
126	<b>0.05334</b>	2403	<b>0.19428</b>	23566.22100	1825	<b>0.14537</b>	17897.77500
128	<b>0.05419</b>	2468	<b>0.19953</b>	24203.67600	1876	<b>0.14943</b>	18397.93200
130	<b>0.05503</b>	2526	<b>0.20422</b>	24772.48200	1903	<b>0.15158</b>	18662.72100
132	<b>0.05588</b>	2587	<b>0.20915</b>	25370.70900	1998	<b>0.15915</b>	19594.38600
134	<b>0.05673</b>	2632	<b>0.21279</b>	25812.02400	1999	<b>0.15923</b>	19604.19300
136	<b>0.05757</b>	2702	<b>0.21845</b>	26498.51400	2043	<b>0.16274</b>	20035.70100
138	<b>0.05842</b>	2774	<b>0.22427</b>	27204.61800	2114	<b>0.16839</b>	20731.99800



140	<b>0.05927</b>	2835	<b>0.22921</b>	27802.84500	2141	<b>0.17054</b>	20996.78700
142	<b>0.06011</b>	2883	<b>0.23309</b>	28273.58100	2189	<b>0.17437</b>	21467.52300
144	<b>0.06096</b>	2957	<b>0.23907</b>	28999.29900	2223	<b>0.17707</b>	21800.96100
146	<b>0.06181</b>	3012	<b>0.24352</b>	29538.68400	2271	<b>0.18090</b>	22271.69700
148	<b>0.06265</b>	3076	<b>0.24869</b>	30166.33200	2378	<b>0.18942</b>	23321.04600
150	<b>0.06350</b>	3137	<b>0.25362</b>	30764.55900	2379	<b>0.18950</b>	23330.85300
152	<b>0.06435</b>	3195	<b>0.25831</b>	31333.36500	2413	<b>0.19221</b>	23664.29100
154	<b>0.06519</b>	3267	<b>0.26413</b>	32039.46900	2454	<b>0.19547</b>	24066.37800
156	<b>0.06604</b>	3304	<b>0.26712</b>	32402.32800	2482	<b>0.19771</b>	24340.97400
158	<b>0.06689</b>	3382	<b>0.27343</b>	33167.27400	2536	<b>0.20201</b>	24870.55200
160	<b>0.06773</b>	3464	<b>0.28006</b>	33971.44800	2598	<b>0.20695</b>	25478.58600
162	<b>0.06858</b>	3511	<b>0.28386</b>	34432.37700	2627	<b>0.20926</b>	25762.98900
164	<b>0.06943</b>	3572	<b>0.28879</b>	35030.60400	2665	<b>0.21228</b>	26135.65500
166	<b>0.07027</b>	3651	<b>0.29518</b>	35805.35700	2706	<b>0.21555</b>	26537.74200
168	<b>0.07112</b>	3695	<b>0.29874</b>	36236.86500	2750	<b>0.21905</b>	26969.25000
170	<b>0.07197</b>	3753	<b>0.30342</b>	36805.67100	2804	<b>0.22335</b>	27498.82800
172	<b>0.07281</b>	3827	<b>0.30941</b>	37531.38900	2842	<b>0.22638</b>	27871.49400
174	<b>0.07366</b>	3895	<b>0.31490</b>	38198.26500	2896	<b>0.23068</b>	28401.07200
176	<b>0.07451</b>	3953	<b>0.31959</b>	38767.07100	2937	<b>0.23395</b>	28803.15900
178	<b>0.07535</b>	4014	<b>0.32453</b>	39365.29800	2995	<b>0.23857</b>	29371.96500
180	<b>0.07620</b>	4074	<b>0.32938</b>	39953.71800	3025	<b>0.24096</b>	29666.17500
182	<b>0.07705</b>	4147	<b>0.33528</b>	40669.62900	3056	<b>0.24343</b>	29970.19200
184	<b>0.07789</b>	4225	<b>0.34158</b>	41434.57500	3086	<b>0.24582</b>	30264.40200
186	<b>0.07874</b>	4286	<b>0.34652</b>	42032.80200	3120	<b>0.24853</b>	30597.84000
188	<b>0.07959</b>	4351	<b>0.35177</b>	42670.25700	3154	<b>0.25123</b>	30931.27800
190	<b>0.08043</b>	4429	<b>0.35808</b>	43435.20300	3189	<b>0.25402</b>	31274.52300
192	<b>0.08128</b>	4490	<b>0.36301</b>	44033.43000	3256	<b>0.25936</b>	31931.59200
194	<b>0.08213</b>	4592	<b>0.37126</b>	45033.74400	3289	<b>0.26199</b>	32255.22300
196	<b>0.08297</b>	4653	<b>0.37619</b>	45631.97100	3365	<b>0.26804</b>	33000.55500
198	<b>0.08382</b>	4715	<b>0.38120</b>	46240.00500	3389	<b>0.26995</b>	33235.92300
200	<b>0.08467</b>	4776	<b>0.38613</b>	46838.23200	3426	<b>0.27290</b>	33598.78200
202	<b>0.08551</b>	4854	<b>0.39244</b>	47603.17800	3470	<b>0.27640</b>	34030.29000
204	<b>0.08636</b>	4936	<b>0.39907</b>	48407.35200	3498	<b>0.27864</b>	34304.88600
206	<b>0.08721</b>	4996	<b>0.40392</b>	48995.77200	3530	<b>0.28118</b>	34618.71000
208	<b>0.08805</b>	5092	<b>0.41168</b>	49937.24400	3579	<b>0.28509</b>	35099.25300
210	<b>0.08890</b>	5146	<b>0.41605</b>	50466.82200	3630	<b>0.28915</b>	35599.41000
212	<b>0.08975</b>	5197	<b>0.42017</b>	50966.97900	3667	<b>0.29210</b>	35962.26900
214	<b>0.09059</b>	5235	<b>0.42324</b>	51339.64500	3708	<b>0.29536</b>	36364.35600
216	<b>0.09144</b>	5286	<b>0.42737</b>	51839.80200	3742	<b>0.29807</b>	36697.79400



218	<b>0.09229</b>	5357	<b>0.43311</b>	52536.09900	3800	<b>0.30269</b>	37266.60000
220	<b>0.09313</b>	5415	<b>0.43779</b>	53104.90500	3817	<b>0.30405</b>	37433.31900
222	<b>0.09398</b>	5506	<b>0.44515</b>	53997.34200	3848	<b>0.30651</b>	37737.33600
224	<b>0.09483</b>	5595	<b>0.45235</b>	54870.16500	3889	<b>0.30978</b>	38139.42300
226	<b>0.09567</b>	5643	<b>0.45623</b>	55340.90100	3923	<b>0.31249</b>	38472.86100
228	<b>0.09652</b>	5717	<b>0.46221</b>	56066.61900	3957	<b>0.31520</b>	38806.29900
230	<b>0.09737</b>	5778	<b>0.46714</b>	56664.84600	3997	<b>0.31838</b>	39198.57900
232	<b>0.09821</b>	5853	<b>0.47321</b>	57400.37100	4102	<b>0.32675</b>	40228.31400
234	<b>0.09906</b>	5918	<b>0.47846</b>	58037.82600	4178	<b>0.33280</b>	40973.64600
236	<b>0.09991</b>	5983	<b>0.48372</b>	58675.28100	4325	<b>0.34451</b>	42415.27500
238	<b>0.10075</b>	6040	<b>0.48832</b>	59234.28000	4420	<b>0.35208</b>	43346.94000
240	<b>0.10160</b>	6118	<b>0.49463</b>	59999.22600	4503	<b>0.35869</b>	44160.92100
242	<b>0.10245</b>	6176	<b>0.49932</b>	60568.03200	4631	<b>0.36889</b>	45416.21700
244	<b>0.10329</b>	6247	<b>0.50506</b>	61264.32900	4750	<b>0.37836</b>	46583.25000
246	<b>0.10414</b>	6299	<b>0.50926</b>	61774.29300	4855	<b>0.38673</b>	47612.98500
248	<b>0.10499</b>	6366	<b>0.51468</b>	62431.36200	4978	<b>0.39653</b>	48819.24600
250	<b>0.10583</b>	6390	<b>0.51662</b>	62666.73000	5143	<b>0.40967</b>	50437.40100
252	<b>0.10668</b>	6472	<b>0.52325</b>	63470.90400	5273	<b>0.42002</b>	51712.31100
254	<b>0.10753</b>	6536	<b>0.52843</b>	64098.55200	5380	<b>0.42855</b>	52761.66000
256	<b>0.10837</b>	6598	<b>0.53344</b>	64706.58600	5534	<b>0.44081</b>	54271.93800
258	<b>0.10922</b>	6676	<b>0.53974</b>	65471.53200	5623	<b>0.44790</b>	55144.76100
260	<b>0.11007</b>	6737	<b>0.54468</b>	66069.75900	5742	<b>0.45738</b>	56311.79400
262	<b>0.11091</b>	6795	<b>0.54937</b>	66638.56500	5851	<b>0.46606</b>	57380.75700
264	<b>0.11176</b>	6856	<b>0.55430</b>	67236.79200	6107	<b>0.48646</b>	59891.34900
266	<b>0.11261</b>	6907	<b>0.55842</b>	67736.94900	6258	<b>0.49848</b>	61372.20600
268	<b>0.11345</b>	6954	<b>0.56222</b>	68197.87800	6412	<b>0.51075</b>	62882.48400
270	<b>0.11430</b>	7012	<b>0.56691</b>	68766.68400	6563	<b>0.52278</b>	64363.34100
272	<b>0.11515</b>	7056	<b>0.57047</b>	69198.19200	6705	<b>0.53409</b>	65755.93500
274	<b>0.11599</b>	7104	<b>0.57435</b>	69668.92800	6867	<b>0.54700</b>	67344.66900
276	<b>0.11684</b>	7179	<b>0.58041</b>	70404.45300	7041	<b>0.56086</b>	69051.08700
278	<b>0.11769</b>	7243	<b>0.58559</b>	71032.10100	7169	<b>0.57105</b>	70306.38300
280	<b>0.11853</b>	7305	<b>0.59060</b>	71640.13500	7301	<b>0.58157</b>	71600.90700
282	<b>0.11938</b>	7366	<b>0.59553</b>	72238.36200	7322	<b>0.58324</b>	71806.85400
284	<b>0.12023</b>	7424	<b>0.60022</b>	72807.16800	7359	<b>0.58619</b>	72169.71300
286	<b>0.12107</b>	7478	<b>0.60458</b>	73336.74600	7112	<b>0.56651</b>	69747.38400
288	<b>0.12192</b>	7533	<b>0.60903</b>	73876.13100	6910	<b>0.55042</b>	67766.37000
290	<b>0.12277</b>	7590	<b>0.61364</b>	74435.13000	6593	<b>0.52517</b>	64657.55100
292	<b>0.12361</b>	7651	<b>0.61857</b>	75033.35700			
294	<b>0.12446</b>	7682	<b>0.62108</b>	75337.37400			



296	<b>0.12531</b>	7726	<b>0.62464</b>	75768.88200	
298	<b>0.12615</b>	7767	<b>0.62795</b>	76170.96900	
300	<b>0.12700</b>	7811	<b>0.63151</b>	76602.47700	
302	<b>0.12785</b>	7845	<b>0.63426</b>	76935.91500	
304	<b>0.12869</b>	7920	<b>0.64032</b>	77671.44000	
306	<b>0.12954</b>	7987	<b>0.64574</b>	78328.50900	
308	<b>0.13039</b>	8001	<b>0.64687</b>	78465.80700	
310	<b>0.13123</b>	8063	<b>0.65188</b>	79073.84100	
312	<b>0.13208</b>	8103	<b>0.65512</b>	79466.12100	
314	<b>0.13293</b>	8185	<b>0.66174</b>	80270.29500	
316	<b>0.13377</b>	8212	<b>0.66393</b>	80535.08400	
318	<b>0.13462</b>	8243	<b>0.66643</b>	80839.10100	
320	<b>0.13547</b>	8273	<b>0.66886</b>	81133.31100	
322	<b>0.13631</b>	8284	<b>0.66975</b>	81241.18800	
324	<b>0.13716</b>	8316	<b>0.67234</b>	81555.01200	
326	<b>0.13801</b>	8331	<b>0.67355</b>	81702.11700	
328	<b>0.13885</b>	8338	<b>0.67411</b>	81770.76600	
330	<b>0.13970</b>	8352	<b>0.67525</b>	81908.06400	
332	<b>0.14055</b>	8362	<b>0.67605</b>	82006.13400	
334	<b>0.14139</b>	8365	<b>0.67630</b>	82035.55500	
336	<b>0.14224</b>	8369	<b>0.67662</b>	82074.78300	
338	<b>0.14309</b>	8362	<b>0.67605</b>	82006.13400	
340	<b>0.14393</b>	8348	<b>0.67492</b>	81868.83600	
342	<b>0.14478</b>	8317	<b>0.67242</b>	81564.81900	
344	<b>0.14563</b>	8284	<b>0.66975</b>	81241.18800	
346	<b>0.14647</b>	8260	<b>0.66781</b>	81005.82000	
348	<b>0.14732</b>	8165	<b>0.66013</b>	80074.15500	
350	<b>0.14817</b>	8120	<b>0.65649</b>	79632.84000	
352	<b>0.14901</b>	7996	<b>0.64646</b>	78416.77200	
354	<b>0.14986</b>	7881	<b>0.63717</b>	77288.96700	
356	<b>0.15071</b>	7634	<b>0.61720</b>	74866.63800	
358	<b>0.15155</b>	7529	<b>0.60871</b>	73836.90300	
360	<b>0.15240</b>	7436	<b>0.60119</b>	72924.85200	
362	<b>0.15325</b>	7269	<b>0.58769</b>	71287.08300	
364	<b>0.15409</b>	6916	<b>0.55915</b>	67825.21200	

Nota: La deformación Unitaria =  $((D^*(0.01*p))/h)$ , donde D = Deformación medida en el laboratorio con precisión 0.001'; p = valor en [mm] para convertir en pulgadas [25.4]; h = la altura del elemento; Fuerza =  $t^*N$ . Donde; t = a los valores obtenidos en el laboratorio; N = al valor para convertir a Newtons los valores obtenidos en el laboratorio [9.807];

Esfuerzo = cociente de fuerza sobre el área a la cual fue aplicada la fuerza y varia en función de cada elemento,  $\epsilon = \delta/h$ ; (d) = ecuación para calcular el esfuerzo ver Capítulo 4

Anexo 7.1

## **Titulo:** Resumen de resistencia a la compresión diagonal para muretes

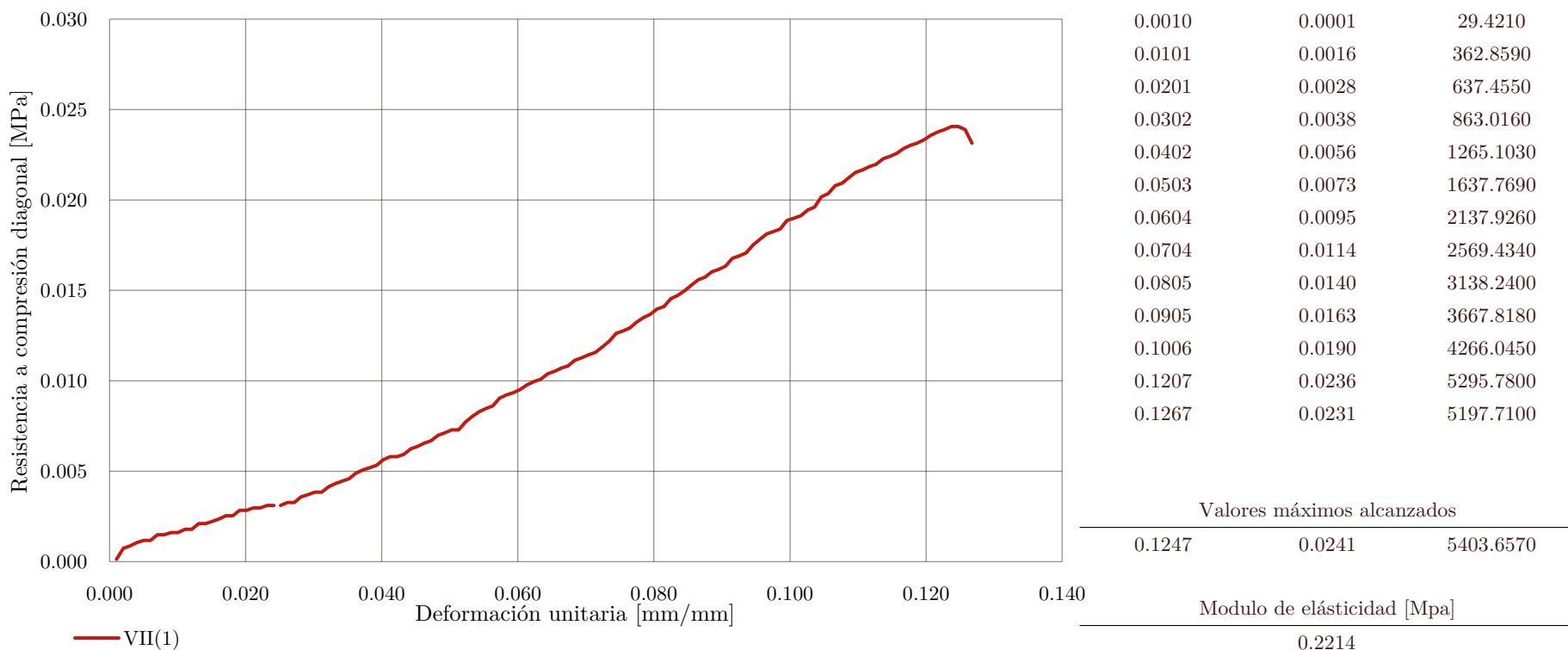


2017-05-03

2017-06-07

l	a	h	V	A	C	A	Deformación	Esfuerzo	Fuerza	
largo	ancho	altura	volumen	área	$t^*(\approx N)$	área diagonal	Unitaria	C/A	C	
[mm]	[mm]	[mm]	[mm ]	[mm <sup>2</sup> ]	[N]	[mm <sup>2</sup> ]	Tipo	[mm]	[Mpa]	[N]

605.00 202.32 505.00 61813818.00 122403.60 anexo 7.3 224575.2 **VII(1)**



**Nota:**  $\approx N$  = al valor para transformar Kg/cm a Newtons[N]; la deformación unitaria esta detallada en el anexo especificado.

los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado y solo es un resumen de todos los valores (C/20 de los valores registrados en el laboratorio).

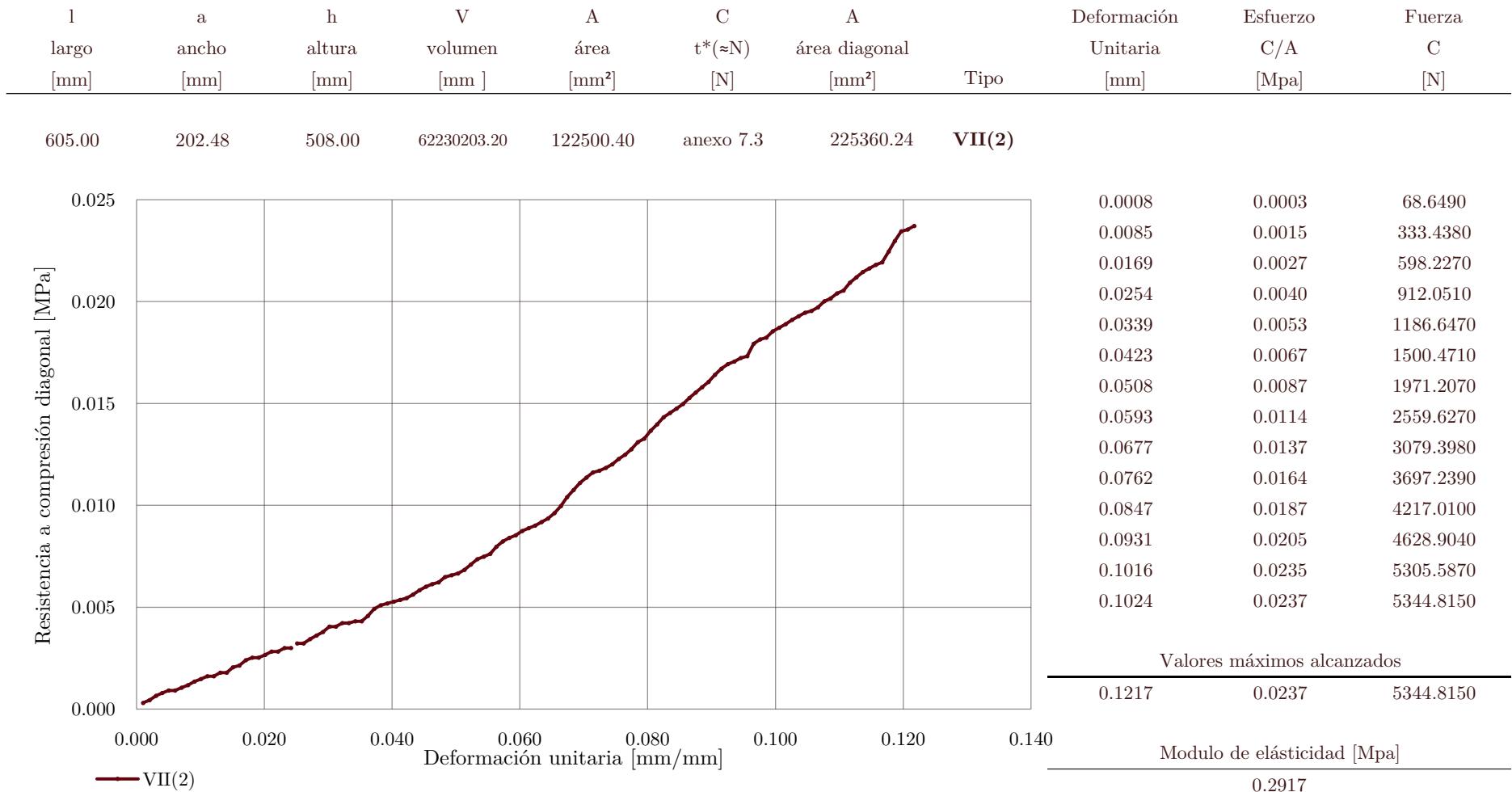


## Anexo 7.2



2017-05-03

2017-06-07

**Título:** Resumen de resistencia a la compresión diagonal para muretes**Nota:** ≈N = al valor para transformar Kg/cm<sup>2</sup> a Newtons[N]; la deformación unitaria esta detallada en el anexo especificado.

los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado y solo es un resumen de todos los valores (C/20 de los valores registrados en el laboratorio)



## Anexo 7.3

2017-05-02

Resistencia a la compresión diagonal y cálculos  
VII

D	Deformación Unitaria (δ) [mm]	t	Esfuerzo $\epsilon = \delta/h$ (d) [Mpa]	3		t	Esfuerzo $\epsilon = \delta/h$ (d) [Mpa]	4	
				Fuerza [N]				Fuerza [N]	
2	0.00101	3	0.00013	29.42100		7	0.00030	68.64900	
4	0.00201	17	0.00074	166.71900		10	0.00044	98.07000	
6	0.00302	20	0.00087	196.14000		15	0.00065	147.10500	
8	0.00402	24	0.00105	235.36800		18	0.00078	176.52600	
10	0.00503	27	0.00118	264.78900		21	0.00091	205.94700	
12	0.00604	27	0.00118	264.78900		21	0.00091	205.94700	
14	0.00704	34	0.00148	333.43800		24	0.00104	235.36800	
16	0.00805	34	0.00148	333.43800		27	0.00117	264.78900	
18	0.00905	37	0.00162	362.85900		31	0.00135	304.01700	
20	0.01006	37	0.00162	362.85900		34	0.00148	333.43800	
22	0.01107	41	0.00179	402.08700		37	0.00161	362.85900	
24	0.01207	41	0.00179	402.08700		37	0.00161	362.85900	
26	0.01308	48	0.00210	470.73600		41	0.00178	402.08700	
28	0.01408	48	0.00210	470.73600		41	0.00178	402.08700	
30	0.01509	51	0.00223	500.15700		47	0.00205	460.92900	
32	0.01610	54	0.00236	529.57800		49	0.00213	480.54300	
34	0.01710	58	0.00253	568.80600		55	0.00239	539.38500	
36	0.01811	58	0.00253	568.80600		58	0.00252	568.80600	
38	0.01911	65	0.00284	637.45500		58	0.00252	568.80600	
40	0.02012	65	0.00284	637.45500		61	0.00265	598.22700	
42	0.02112	68	0.00297	666.87600		65	0.00283	637.45500	
44	0.02213	68	0.00297	666.87600		65	0.00283	637.45500	
46	0.02314	71	0.00310	696.29700		69	0.00300	676.68300	
48	0.02414	71	0.00310	696.29700		69	0.00300	676.68300	
50	0.02515	71	0.00310	696.29700		74	0.00322	725.71800	
52	0.02615	75	0.00328	735.52500		74	0.00322	725.71800	
54	0.02716	75	0.00328	735.52500		79	0.00344	774.75300	
56	0.02817	82	0.00358	804.17400		83	0.00361	813.98100	
58	0.02917	85	0.00371	833.59500		87	0.00379	853.20900	
60	0.03018	88	0.00384	863.01600		93	0.00405	912.05100	



62	<b>0.03118</b>	88	<b>0.00384</b>	863.01600	93	<b>0.00405</b>	912.05100
64	<b>0.03219</b>	95	<b>0.00415</b>	931.66500	97	<b>0.00422</b>	951.27900
66	<b>0.03320</b>	99	<b>0.00432</b>	970.89300	97	<b>0.00422</b>	951.27900
68	<b>0.03420</b>	102	<b>0.00445</b>	1000.31400	99	<b>0.00431</b>	970.89300
70	<b>0.03521</b>	105	<b>0.00459</b>	1029.73500	99	<b>0.00431</b>	970.89300
72	<b>0.03621</b>	112	<b>0.00489</b>	1098.38400	105	<b>0.00457</b>	1029.73500
74	<b>0.03722</b>	116	<b>0.00507</b>	1137.61200	113	<b>0.00492</b>	1108.19100
76	<b>0.03823</b>	119	<b>0.00520</b>	1167.03300	117	<b>0.00509</b>	1147.41900
78	<b>0.03923</b>	122	<b>0.00533</b>	1196.45400	119	<b>0.00518</b>	1167.03300
80	<b>0.04024</b>	129	<b>0.00563</b>	1265.10300	121	<b>0.00527</b>	1186.64700
82	<b>0.04124</b>	133	<b>0.00581</b>	1304.33100	123	<b>0.00535</b>	1206.26100
84	<b>0.04225</b>	133	<b>0.00581</b>	1304.33100	125	<b>0.00544</b>	1225.87500
86	<b>0.04326</b>	136	<b>0.00594</b>	1333.75200	129	<b>0.00561</b>	1265.10300
88	<b>0.04426</b>	143	<b>0.00624</b>	1402.40100	134	<b>0.00583</b>	1314.13800
90	<b>0.04527</b>	146	<b>0.00638</b>	1431.82200	138	<b>0.00601</b>	1353.36600
92	<b>0.04627</b>	150	<b>0.00655</b>	1471.05000	141	<b>0.00614</b>	1382.78700
94	<b>0.04728</b>	153	<b>0.00668</b>	1500.47100	143	<b>0.00622</b>	1402.40100
96	<b>0.04829</b>	160	<b>0.00699</b>	1569.12000	149	<b>0.00648</b>	1461.24300
98	<b>0.04929</b>	163	<b>0.00712</b>	1598.54100	151	<b>0.00657</b>	1480.85700
100	<b>0.05030</b>	167	<b>0.00729</b>	1637.76900	153	<b>0.00666</b>	1500.47100
102	<b>0.05130</b>	167	<b>0.00729</b>	1637.76900	157	<b>0.00683</b>	1539.69900
104	<b>0.05231</b>	177	<b>0.00773</b>	1735.83900	163	<b>0.00709</b>	1598.54100
106	<b>0.05331</b>	184	<b>0.00804</b>	1804.48800	169	<b>0.00735</b>	1657.38300
108	<b>0.05432</b>	190	<b>0.00830</b>	1863.33000	172	<b>0.00748</b>	1686.80400
110	<b>0.05533</b>	194	<b>0.00847</b>	1902.55800	175	<b>0.00762</b>	1716.22500
112	<b>0.05633</b>	197	<b>0.00860</b>	1931.97900	183	<b>0.00796</b>	1794.68100
114	<b>0.05734</b>	207	<b>0.00904</b>	2030.04900	189	<b>0.00822</b>	1853.52300
116	<b>0.05834</b>	211	<b>0.00921</b>	2069.27700	193	<b>0.00840</b>	1892.75100
118	<b>0.05935</b>	214	<b>0.00935</b>	2098.69800	196	<b>0.00853</b>	1922.17200
120	<b>0.06036</b>	218	<b>0.00952</b>	2137.92600	201	<b>0.00875</b>	1971.20700
122	<b>0.06136</b>	224	<b>0.00978</b>	2196.76800	204	<b>0.00888</b>	2000.62800
124	<b>0.06237</b>	228	<b>0.00996</b>	2235.99600	207	<b>0.00901</b>	2030.04900
126	<b>0.06337</b>	231	<b>0.01009</b>	2265.41700	211	<b>0.00918</b>	2069.27700
128	<b>0.06438</b>	238	<b>0.01039</b>	2334.06600	215	<b>0.00936</b>	2108.50500
130	<b>0.06539</b>	241	<b>0.01052</b>	2363.48700	221	<b>0.00962</b>	2167.34700
132	<b>0.06639</b>	245	<b>0.01070</b>	2402.71500	229	<b>0.00997</b>	2245.80300
134	<b>0.06740</b>	248	<b>0.01083</b>	2432.13600	239	<b>0.01040</b>	2343.87300
136	<b>0.06840</b>	255	<b>0.01114</b>	2500.78500	247	<b>0.01075</b>	2422.32900
138	<b>0.06941</b>	258	<b>0.01127</b>	2530.20600	255	<b>0.01110</b>	2500.78500



140	<b>0.07042</b>	262	<b>0.01144</b>	2569.43400	261	<b>0.01136</b>	2559.62700
142	<b>0.07142</b>	265	<b>0.01157</b>	2598.85500	267	<b>0.01162</b>	2618.46900
144	<b>0.07243</b>	272	<b>0.01188</b>	2667.50400	269	<b>0.01171</b>	2638.08300
146	<b>0.07343</b>	279	<b>0.01218</b>	2736.15300	272	<b>0.01184</b>	2667.50400
148	<b>0.07444</b>	289	<b>0.01262</b>	2834.22300	276	<b>0.01201</b>	2706.73200
150	<b>0.07545</b>	292	<b>0.01275</b>	2863.64400	282	<b>0.01227</b>	2765.57400
152	<b>0.07645</b>	296	<b>0.01293</b>	2902.87200	287	<b>0.01249</b>	2814.60900
154	<b>0.07746</b>	303	<b>0.01323</b>	2971.52100	293	<b>0.01275</b>	2873.45100
156	<b>0.07846</b>	309	<b>0.01349</b>	3030.36300	301	<b>0.01310</b>	2951.90700
158	<b>0.07947</b>	313	<b>0.01367</b>	3069.59100	305	<b>0.01327</b>	2991.13500
160	<b>0.08048</b>	320	<b>0.01397</b>	3138.24000	314	<b>0.01366</b>	3079.39800
162	<b>0.08148</b>	323	<b>0.01411</b>	3167.66100	321	<b>0.01397</b>	3148.04700
164	<b>0.08249</b>	333	<b>0.01454</b>	3265.73100	329	<b>0.01432</b>	3226.50300
166	<b>0.08349</b>	337	<b>0.01472</b>	3304.95900	334	<b>0.01453</b>	3275.53800
168	<b>0.08450</b>	343	<b>0.01498</b>	3363.80100	339	<b>0.01475</b>	3324.57300
170	<b>0.08550</b>	350	<b>0.01528</b>	3432.45000	344	<b>0.01497</b>	3373.60800
172	<b>0.08651</b>	357	<b>0.01559</b>	3501.09900	351	<b>0.01527</b>	3442.25700
174	<b>0.08752</b>	360	<b>0.01572</b>	3530.52000	357	<b>0.01554</b>	3501.09900
176	<b>0.08852</b>	367	<b>0.01603</b>	3599.16900	363	<b>0.01580</b>	3559.94100
178	<b>0.08953</b>	370	<b>0.01616</b>	3628.59000	369	<b>0.01606</b>	3618.78300
180	<b>0.09053</b>	374	<b>0.01633</b>	3667.81800	377	<b>0.01641</b>	3697.23900
182	<b>0.09154</b>	384	<b>0.01677</b>	3765.88800	384	<b>0.01671</b>	3765.88800
184	<b>0.09255</b>	387	<b>0.01690</b>	3795.30900	389	<b>0.01693</b>	3814.92300
186	<b>0.09355</b>	391	<b>0.01707</b>	3834.53700	392	<b>0.01706</b>	3844.34400
188	<b>0.09456</b>	401	<b>0.01751</b>	3932.60700	396	<b>0.01723</b>	3883.57200
190	<b>0.09556</b>	408	<b>0.01782</b>	4001.25600	398	<b>0.01732</b>	3903.18600
192	<b>0.09657</b>	415	<b>0.01812</b>	4069.90500	412	<b>0.01793</b>	4040.48400
194	<b>0.09758</b>	418	<b>0.01825</b>	4099.32600	417	<b>0.01815</b>	4089.51900
196	<b>0.09858</b>	421	<b>0.01838</b>	4128.74700	419	<b>0.01823</b>	4109.13300
198	<b>0.09959</b>	432	<b>0.01887</b>	4236.62400	426	<b>0.01854</b>	4177.78200
200	<b>0.10059</b>	435	<b>0.01900</b>	4266.04500	430	<b>0.01871</b>	4217.01000
202	<b>0.10160</b>	438	<b>0.01913</b>	4295.46600	434	<b>0.01889</b>	4256.23800
204	<b>0.10261</b>	445	<b>0.01943</b>	4364.11500	439	<b>0.01910</b>	4305.27300
206	<b>0.10361</b>	449	<b>0.01961</b>	4403.34300	443	<b>0.01928</b>	4344.50100
208	<b>0.10462</b>	462	<b>0.02018</b>	4530.83400	447	<b>0.01945</b>	4383.72900
210	<b>0.10562</b>	466	<b>0.02035</b>	4570.06200	449	<b>0.01954</b>	4403.34300
212	<b>0.10663</b>	476	<b>0.02079</b>	4668.13200	453	<b>0.01971</b>	4442.57100
214	<b>0.10764</b>	479	<b>0.02092</b>	4697.55300	460	<b>0.02002</b>	4511.22000
216	<b>0.10864</b>	486	<b>0.02122</b>	4766.20200	463	<b>0.02015</b>	4540.64100



218	<b>0.10965</b>	493	<b>0.02153</b>	4834.85100	469	<b>0.02041</b>	4599.48300
220	<b>0.11065</b>	496	<b>0.02166</b>	4864.27200	472	<b>0.02054</b>	4628.90400
222	<b>0.11166</b>	500	<b>0.02183</b>	4903.50000	481	<b>0.02093</b>	4717.16700
224	<b>0.11267</b>	503	<b>0.02197</b>	4932.92100	487	<b>0.02119</b>	4776.00900
226	<b>0.11367</b>	510	<b>0.02227</b>	5001.57000	493	<b>0.02145</b>	4834.85100
228	<b>0.11468</b>	513	<b>0.02240</b>	5030.99100	497	<b>0.02163</b>	4874.07900
230	<b>0.11568</b>	517	<b>0.02258</b>	5070.21900	501	<b>0.02180</b>	4913.30700
232	<b>0.11669</b>	523	<b>0.02284</b>	5129.06100	504	<b>0.02193</b>	4942.72800
234	<b>0.11770</b>	527	<b>0.02301</b>	5168.28900	516	<b>0.02245</b>	5060.41200
236	<b>0.11870</b>	530	<b>0.02314</b>	5197.71000	528	<b>0.02298</b>	5178.09600
238	<b>0.11971</b>	534	<b>0.02332</b>	5236.93800	539	<b>0.02346</b>	5285.97300
240	<b>0.12071</b>	540	<b>0.02358</b>	5295.78000	541	<b>0.02354</b>	5305.58700
242	<b>0.12172</b>	544	<b>0.02376</b>	5335.00800	545	<b>0.02372</b>	5344.81500
244	<b>0.12272</b>	547	<b>0.02389</b>	5364.42900			
246	<b>0.12373</b>	551	<b>0.02406</b>	5403.65700			
248	<b>0.12474</b>	551	<b>0.02406</b>	5403.65700			
250	<b>0.12574</b>	547	<b>0.02389</b>	5364.42900			
252	<b>0.12675</b>	530	<b>0.02314</b>	5197.71000			

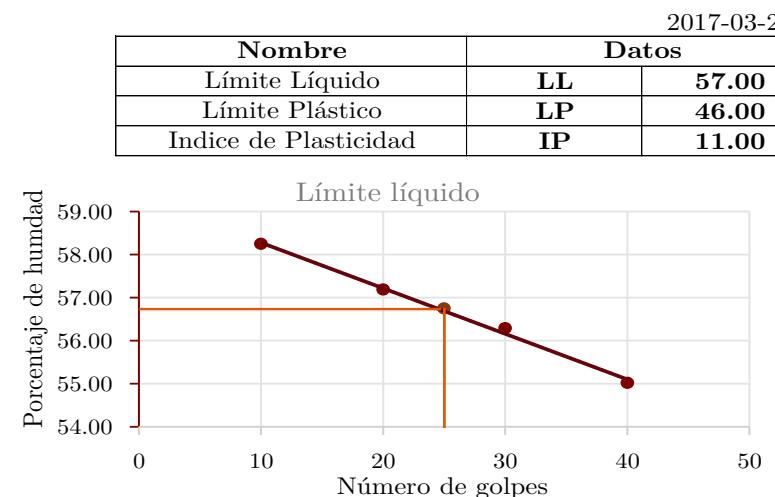
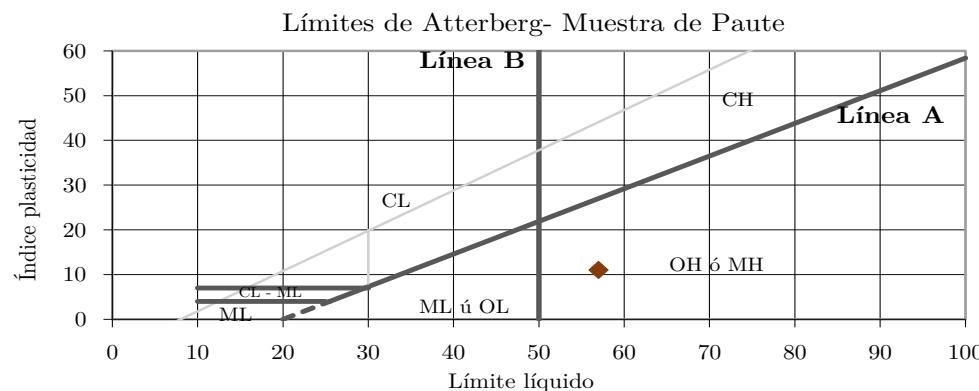
Nota: La deformación Unitaria =  $((D * (0.01 * p)) / h)$ , donde D = Deformación medida en el laboratorio con precisión 0.001'; p = valor en [mm] para convertir en pulgadas [25.4]; h = la altura del elemento; Fuerza = t\*N. Donde; t = a los valores obtenidos en el laboratorio; N = al valor para convertir a Newtons los valores obtenidos en el laboratorio [9.807];

Esfuerzo = cociente de fuerza sobre el área a la cual fue aplicada la fuerza y varia en función de cada elemento,  $\epsilon = \delta / h$ ; (d)= ecuación para calcular el esfuerzo ver Capítulo 4



Título: Límites de Atterberg (Muestra Paute)

## Anexo 8



CAPSULA	A	B	C
Peso de la cápsula*	44.56	43.05	41.56
Peso de la cápsula + Suelo húmedo*	45.68	44.06	42.61
Peso de la cápsula + Suelo seco*	45.33	43.74	42.28
Peso del suelo seco*	<b>0.77</b>	<b>0.69</b>	<b>0.72</b>
Peso del agua*	0.35	0.32	0.33
Contenido de Humedad ^	<b>45.45</b>	<b>46.38</b>	<b>45.83</b>
Contenido medio de Humedad ^		<b>45.89</b>	

CAPSULA	Ensayo de Casa Grande							
	Nº de golpes							
	10.00		20.00		30.00		40.00	
	10D	10I	20D	20I	30D	30I	40D	40I
Peso de la cápsula*	6.09	8.31	8.18	5.39	9.58	6.30	8.50	5.19
Peso de la cápsula + Suelo húmedo*	14.92	18.84	16.52	14.91	20.37	15.78	17.92	15.91
Peso de la cápsula + Suelo seco*	11.69	14.94	13.50	11.43	16.49	12.36	14.59	12.09
Peso del suelo seco*	<b>5.60</b>	<b>6.63</b>	<b>5.32</b>	<b>6.04</b>	<b>6.91</b>	<b>6.06</b>	<b>6.09</b>	<b>6.90</b>
Peso del agua*	3.23	3.90	3.02	3.48	3.88	3.42	3.33	3.82
Contenido de Humedad ^	<b>57.68</b>	<b>58.82</b>	<b>56.77</b>	<b>57.62</b>	<b>56.15</b>	<b>56.44</b>	<b>54.68</b>	<b>55.36</b>
Contenido medio de Humedad ^		<b>58.25</b>		<b>57.19</b>		<b>56.29</b>		<b>55.02</b>

Nota: \* = peso en gramos; ^ = porcentaje; D = derecha; I = izquierda.



## Anexo 9

2017-04-18

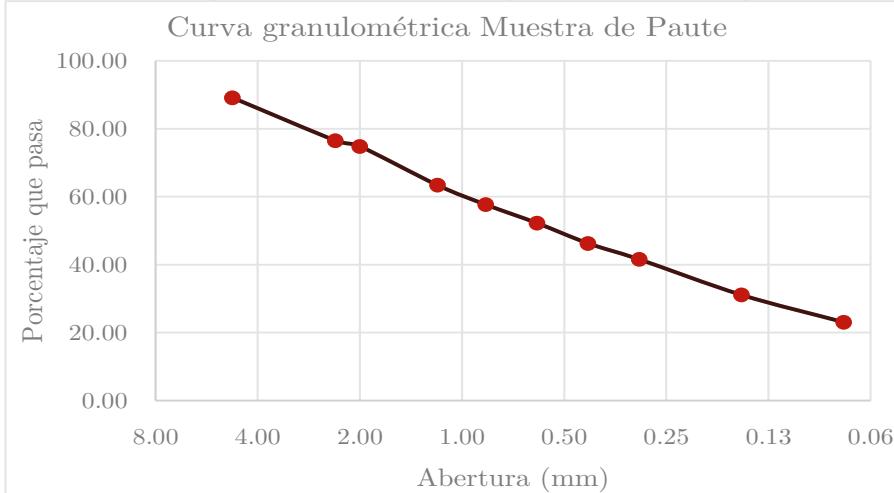
**Título:** Clasificación de suelos (Muestra Paute) resumen

Peso antes del lavado *	500
Peso después del lavado *	115.38

**Granulometría**

Nº de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido*	Retenido %	Acumulado %	Pasa %
-	1/4"	6.30	-	-	100.00
-	3.5	5.60	-	-	100.00
1	4	4.75	54.18	10.84	89.16
2	8	2.36	63.09	12.62	76.54
3	10	2.00	8.48	1.70	74.85
	16	1.18	57.29	11.46	63.39
5	20	0.85	28.62	5.72	57.67
6	30	0.60	27.24	5.45	52.22
7	40	0.43	29.67	5.93	46.28
8	50	0.30	23.67	4.73	41.55
9	100	0.15	52.26	10.45	31.10
10	200	0.08	40.11	8.02	23.08
	<b>Base</b>	<	115.38	23.08	100.00
	<b>total</b>		0.00	100.00	<b>0.00</b>

**Nota:** Nº Tamiz: según ASTM; \* = unidades en gramos, ^ valor en 25 golpes. los resultados son el promedio de ensayos.



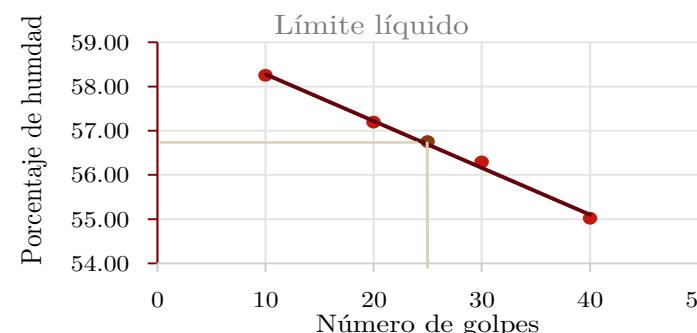
Muestra	Paute
Tiempo de tamizado	10 minutos
<b>Contenido de humedad</b>	
Codigo de recipiente	Peso Húmedo *
A	1000.00
B	1000.00
C	1000.00
	Peso seco *
A	725.97
B	719.09
C	724.60
	Peso del agua *
A	274.03
B	280.91
C	275.4
	% de humedad
	Promedio
	37.75%
	39.06%
	38.27%
	38.01%

Límite Líquido				
A	9.68	6.12	3.57	58.30%
B	8.93	5.68	3.25	57.22%
C	8.93	5.68	3.25	57.22%
D	10.135	6.49	3.65	56.28%

Límite Plástico				
A	1.12	0.77	0.35	45.45%
B	1.01	0.69	0.32	46.38%
C	1.05	0.72	0.33	45.83%



Humedad natural	<b>38.27%</b>
Límite Líquido	<b>LL 57.00</b>
Límite Plástico	<b>LP 46.00</b>
Indice de Plasticidad	<b>IP 11.00</b>

Clasificación	
SUCS	<b>SM</b>
AASHTO	<b>A 2-7(0)</b>



Título: Clasificación de suelos (Muestra Paute)

Peso de la muestra	500
tiempo	10 minutos

## Anexo 9.1

Muestra

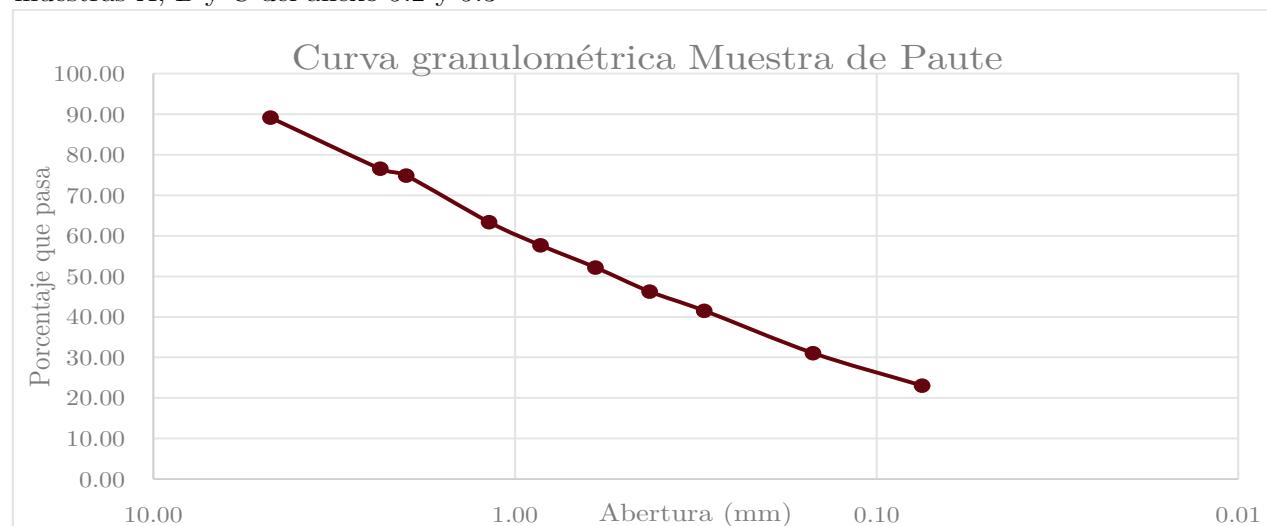
Paute

2017-04-17

Nº de Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido*	Retenido %	Acumulado %	Pasa %
1	4	4.75	54.18	10.84	<b>89.16</b>
2	8	2.36	63.09	12.62	<b>76.54</b>
3	10	2.00	8.48	1.70	<b>74.85</b>
4	16	1.18	57.29	11.46	<b>63.39</b>
5	20	0.85	28.62	5.72	<b>57.67</b>
6	30	0.60	27.24	5.45	<b>52.22</b>
7	40	0.43	29.67	5.93	<b>46.28</b>
8	50	0.30	23.67	4.73	<b>41.55</b>
9	100	0.15	52.26	10.45	<b>31.10</b>
10	200	0.08	40.11	8.02	<b>23.08</b>
<b>Base</b>	<	115.38	23.08	100.00	
<b>total</b>		500.00	100.00		

D60	1.08
D10	-
D30	0.15
Cu	-
Cc	-
Mf	-

Nota: N° Tamiz: según ASTM; \* = unidades en gramos; Los resultados son el promedio de las muestras A, B y C del anexo 9.2 y 9.3



Peso total antes del lavado  
500

Peso despues del lavado  
115.38



## Anexo 9.2

**Título:** Datos del ensayo de clasificación de suelos 1

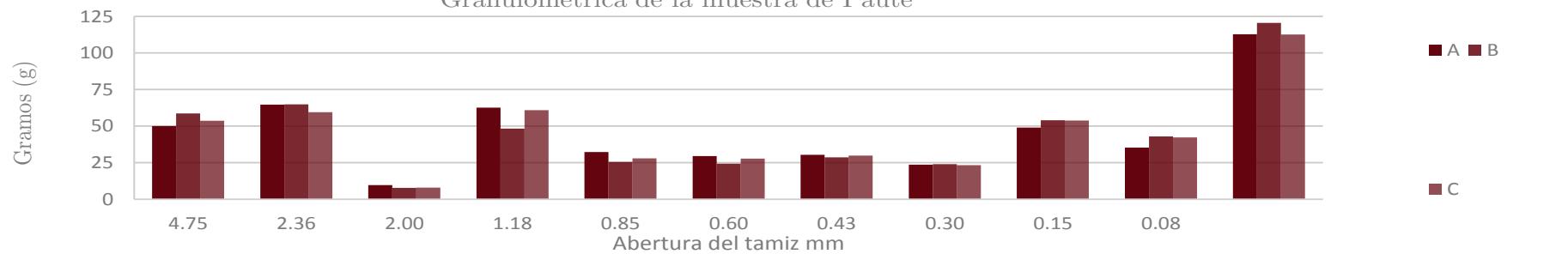
2017-04-19

Nº Tamiz	Ab (mm)	Peso tamiz	Peso * (incluido el tamiz)			Peso Retenido *			Promedio
			A	B	C	A	B	C	
4	4.75	784.52	834.60	843.27	838.24	50.08	58.75	53.72	<b>54.18</b>
8	2.36	641.87	706.65	706.80	701.44	64.78	64.93	59.57	<b>63.09</b>
10	2.00	396.90	406.56	404.65	404.94	9.66	7.75	8.04	<b>8.48</b>
16	1.18	616.39	679.05	664.64	677.35	62.66	48.25	60.96	<b>57.29</b>
20	0.85	637.83	670.08	663.43	665.84	32.25	25.60	28.01	<b>28.62</b>
30	0.60	375.65	405.12	400.06	403.50	29.47	24.41	27.85	<b>27.24</b>
40	0.43	331.07	361.52	359.79	360.90	30.45	28.72	29.83	<b>29.67</b>
50	0.30	527.12	550.84	551.09	550.45	23.72	23.97	23.33	<b>23.67</b>
100	0.15	535.77	584.75	589.80	589.54	48.98	54.03	53.77	<b>52.26</b>
200	0.08	339.73	374.85	382.71	381.96	35.12	42.98	42.23	<b>40.11</b>
<b>Base</b>	<	459.23	465.44	463.92	461.35	112.83	120.61	112.69	<b>115.38</b>
<b>Total</b>						500.00	500.00	500.00	<b>500.00</b>

## Resultados ensayo de humedad

	Muestras / Ensayos			Promedio
	A	B	C	
peso inicial *	1000	1000	1000	<b>1000.00</b>
peso final *	725.97	719.09	724.6	<b>723.22</b>
peso humedad *	274.03	280.91	275.4	<b>276.78</b>
% humedad	37.75%	39.06%	38.01%	<b>38.27%</b>
Peso perdido después del lavado * (500 g iniciales)	106.62	115.92	110.57	<b>111.04</b>

## Granulométrica de la muestra de Paute



**Nota:** Nº Tamiz: según ASTM; Ab = abertura del tamiz [mm]; \* = unidades en gramos; Los resultados son de las muestras A, B y C.

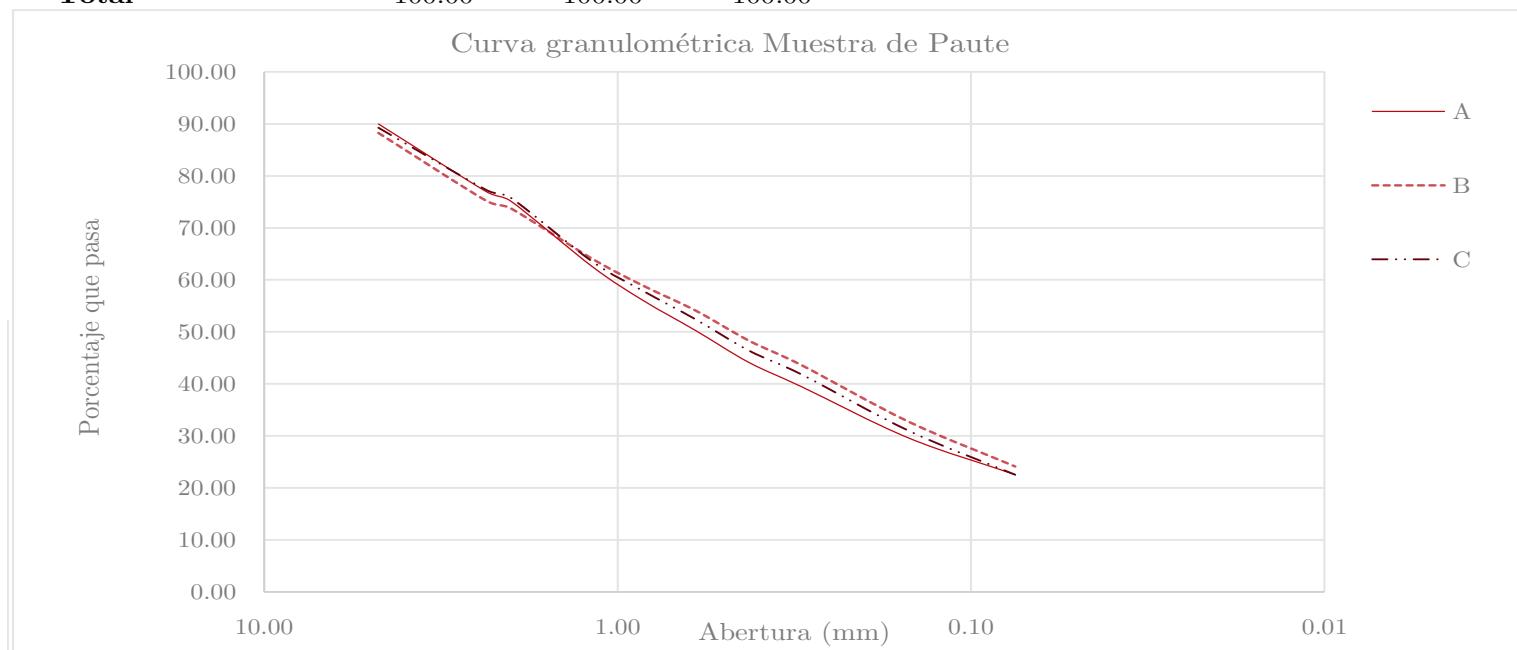


## Anexo 9.3

**Título:** Datos del ensayo de clasificación de suelos 2

20/04/2017

Nº Tamiz	Ab (mm)	Porcentaje Retenido %			Porcentaje acumulado %			Porcentaje que pasa %		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
4	4.75	10.02	11.75	10.74	10.02	11.75	10.74	89.98	88.25	89.26
8	2.36	12.96	12.99	11.91	22.97	24.74	22.66	77.03	75.26	77.34
10	2.00	1.93	1.55	1.61	24.90	26.29	24.27	75.10	73.71	75.73
16	1.18	12.53	9.65	12.19	37.44	35.94	36.46	62.56	64.06	63.54
20	0.85	6.45	5.12	5.60	43.89	41.06	42.06	56.11	58.94	57.94
30	0.60	5.89	4.88	5.57	49.78	45.94	47.63	50.22	54.06	52.37
40	0.43	6.09	5.74	5.97	55.87	51.68	53.60	44.13	48.32	46.40
	0.30	4.74	4.79	4.67	60.61	56.48	58.26	39.39	43.52	41.74
100	0.15	9.80	10.81	10.75	70.41	67.28	69.02	29.59	32.72	30.98
200	0.08	7.02	8.60	8.45	77.43	75.88	77.46	22.57	24.12	22.54
<b>Base</b>	<	22.57	24.12	22.54	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>		100.00	100.00	100.00						



**Nota:** N° Tamiz: según ASTM; Ab = abertura del tamiz [mm]; Los resultados son de las muestras A, B y C.



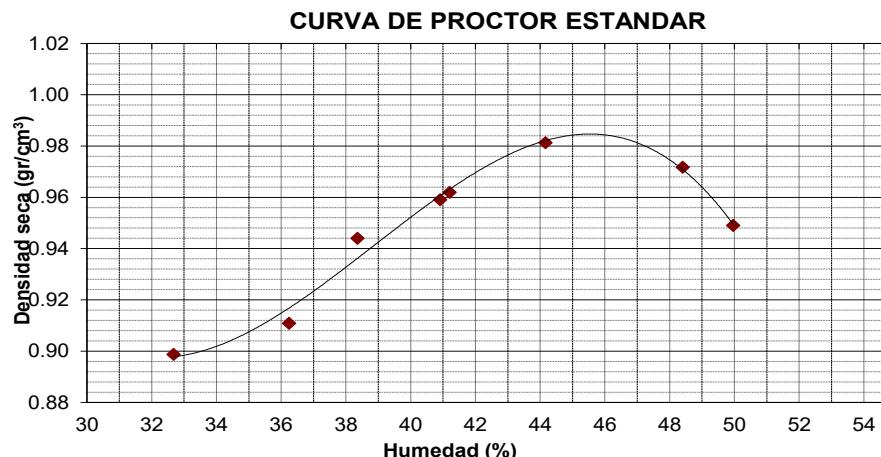
## Anexo 10

Título: Resumen de datos del ensayo de compactación Proctor Estándar 1

2017-06-05

Compactación	Prueba Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Numero de capas		3	3	3	3	3	3	3	3
Numero de golpes		25	25	25	25	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)		5 320.10	5 351.60	5 414.20	5 477.10	5 470.10	5 515.60	5 538.70	5540.70
Peso molde (gr.)		4 194.50	4 180.10	4 181.20	4 194.90	4 194.40	4 180.20	4 195.20	4179.40
Peso suelo compactado (gr.)		1 125.60	1 171.50	1 233.00	1 282.20	1 275.70	1 335.40	1 343.50	1361.30
Volumen del molde (cm )		943.96	943.96	943.96	943.96	943.96	943.96	943.96	943.96
Densidad húmeda (gr/cm )		<b>1.19</b>	<b>1.24</b>	<b>1.31</b>	<b>1.36</b>	<b>1.35</b>	<b>1.41</b>	<b>1.42</b>	<b>1.44</b>

Humedad (%)	1	2	3	4	5	6	7	8
Tara Nº	1	2	3	4	5	6	7	8
Tara + suelo húmedo (gr.)	50.14	89.62	49.93	52.12	51.44	85.49	100.73	101.05
Tara + suelo seco (gr.)	39.88	78.00	38.37	39.30	39.00	72.48	82.65	84.87
en gramos; Los resultados son el promedio	10.26	11.62	11.56	12.82	12.44	13.00	18.08	16.18
Peso de tara (gr.)	8.48	45.95	8.23	8.20	8.59	43.04	46.47	51.44
Peso de suelo seco (gr.)	31.40	32.05	30.14	31.10	30.41	29.44	36.18	33.43
Humedad (%)	32.7	36.2	38.4	41.2	40.9	44.2	50.0	48.4
Densidad Seca (gr/cm )	<b>0.899</b>	<b>0.911</b>	<b>0.944</b>	<b>0.962</b>	<b>0.959</b>	<b>0.981</b>	<b>0.949</b>	<b>0.972</b>



Nota: A, B, C, D, E, F, G y H = Ensayos de Proctor estándar.



## Anexo 10.1

Título: Resumen de datos del ensayo de compactación Proctor Estándar 2

2017-06-05

Ensayo	A			B			C		
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara + suelo húmedo (gr.)	50.21	51.02	49.20	83.85	93.97	91.03	49.86	50.72	49.20
Tara + suelo seco (gr.)	39.85	40.70	39.10	73.10	82.20	78.70	38.20	39.10	37.80
Peso de agua (gr.)	10.36	10.32	10.10	10.75	11.77	12.33	11.66	11.62	11.40
Peso de tara (gr.)	8.18	8.86	8.40	43.23	49.95	44.68	8.11	8.34	8.23
Peso de suelo seco (gr.)	31.67	31.84	30.70	29.87	32.25	34.02	30.09	30.76	29.57
Humedad (%)	32.71	32.41	32.90	35.99	36.50	36.24	38.75	37.78	38.55
Densidad Seca (gr/cm )	0.8988			0.9109			0.9441		

Ensayo	D			E			F		
Tara Nº	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tara + suelo húmedo (gr.)	54.41	52.25	49.69	51.73	50.22	52.36	82.76	85.18	88.52
Tara + suelo seco (gr.)	40.90	39.30	37.70	39.20	38.00	39.80	69.65	73.20	74.60
Peso de agua (gr.)	13.51	12.95	11.99	12.53	12.22	12.56	13.11	11.98	13.92
Peso de tara (gr.)	8.27	8.14	8.20	8.80	8.29	8.69	40.05	46.01	43.06
Peso de suelo seco (gr.)	32.63	31.16	29.50	30.40	29.71	31.11	29.60	27.19	31.54
Humedad (%)	41.40	41.56	40.64	41.22	41.13	40.37	44.29	44.06	44.13
Densidad Seca (gr/cm )	0.9620			0.9591			0.9813		

Ensayo	G			H		
Tara Nº	1	2	3	1	2	3
Tara + suelo húmedo (gr.)	97.80	102.97	101.42	113.05	95.47	94.62
Tara + suelo seco (gr.)	81.06	83.60	83.30	96.70	79.30	78.60
Peso de agua (gr.)	16.74	19.37	18.12	16.35	16.17	16.02
Peso de tara (gr.)	47.70	44.99	46.72	62.93	45.92	45.46
Peso de suelo seco (gr.)	33.36	38.61	36.58	33.77	33.38	33.14
Humedad (%)	50.18	50.17	49.54	48.42	48.44	48.34
Densidad Seca (gr/cm )	0.9491			0.9718		

**LABORATORIO DE SANITARIA - FACULTAD DE INGENIERIA****RESULTADOS DE ANALISIS: MATERIA ORGANICA EN SUELOS**

Muestra procedencia: SUELOS  
Fecha de toma: 03 de Mayo de 2017  
Fecha de Análisis: 03 de Mayo de 2017  
Análisis solicitado por: Sr. Andres Cardenas

PARAMETRO	Muestra # 1	Muestra # 2 (5)	UNIDAD
Materia Orgánica	5,23	5,13	%

Responsable:



Dra. Guillermima Pauta

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
Facultad de Ingeniería  
LABORATORIO DE  
INGENIERIA SANITARIA



## Anexo 12

2017-03-07 2017-06-12

Título: Resumen de resistencia a la flexión

Tipo IV A-J

	l largo [mm]	a ancho [mm]	h altura [mm]	V volumen [mm ]	A área [mm <sup>2</sup> ]	C t*(≈N) [N]	I (a*h <sup>3</sup> )/12 [mm <sup>4</sup> ]	L [mm]	c (h/2) [mm]
A5	299.00	149.60	148.50	6642464.40	44730.40	ANEXO 12.1	4.083E+07	239.00	74.25
A6	299.00	149.50	151.00	6749775.50	44700.50	ANEXO 12.1	4.289E+07	239.00	75.50
B5	299.00	149.50	148.00	6615674.00	44700.50	ANEXO 12.2	4.039E+07	239.00	74.00
B6	297.00	150.00	153.20	6825060.00	44550.00	ANEXO 12.2	4.495E+07	237.00	76.60
C5	299.00	150.10	151.70	6808280.83	44879.90	ANEXO 12.3	4.367E+07	239.00	75.85
C6	298.00	149.40	152.35	6782804.82	44521.20	ANEXO 12.3	4.402E+07	238.00	76.18
D5	298.50	149.10	152.70	6796119.65	44506.35	ANEXO 12.4	4.424E+07	238.50	76.35
D6	298.00	148.80	153.50	6806558.40	44342.40	ANEXO 12.4	4.485E+07	238.00	76.75
E5	297.50	148.90	150.30	6657951.83	44297.75	ANEXO 12.5	4.213E+07	237.50	75.15
E6	297.00	149.41	154.50	6855901.97	44374.77	ANEXO 12.5	4.592E+07	237.00	77.25
F5	299.00	149.50	153.60	6865996.80	44700.50	ANEXO 12.6	4.515E+07	239.00	76.80
F6	297.00	150.00	150.65	6711457.50	44550.00	ANEXO 12.6	4.274E+07	237.00	75.33
G5	300.00	148.70	148.80	6637968.00	44610.00	ANEXO 12.7	4.083E+07	240.00	74.40
G6	300.00	149.50	155.00	6951750.00	44850.00	ANEXO 12.7	4.639E+07	240.00	77.50
H5	300.00	149.50	153.00	6862050.00	44850.00	ANEXO 12.8	4.462E+07	240.00	76.50
H6	299.00	149.80	154.00	6897690.80	44790.20	ANEXO 12.8	4.559E+07	239.00	77.00
I5	299.00	149.80	154.00	6897690.80	44790.20	ANEXO 12.9	4.559E+07	239.00	77.00
I6	299.00	149.80	154.00	6897690.80	44790.20	ANEXO 12.9	4.559E+07	239.00	77.00
J5	296.00	149.20	145.50	6425745.60	44163.20	ANEXO 12.10	3.830E+07	236.00	72.75
J6	298.00	148.70	149.00	6602577.40	44312.60	ANEXO 12.10	4.099E+07	238.00	74.50

Nota: Ver las dimensiones para cada modelo 5 y 6 en los anexos respectivos anexos A 4.1 - A 4.10.



Anexo 12.1

2017-03-07

2017-04-04

**Titulo:** Resumen de resistencia a la flexión para el modelo especificado

**IV**  
**A**



**Nota:** C = carga en Newtons [N]; t = valor en kg/cm<sup>2</sup>, ver atrás;  $\approx N = 9.807$ ; I = inercia del polígono, ver la ecuación (i); L = distancia entre apoyos; M = momento, ver fórmula (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.

Los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado (deformación c/5 unidades; de los valores registrados en el laboratorio).



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

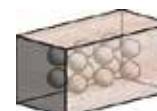
Mu	D	Deformación $\delta$ [mm/mm]	radio de giro $r_g = \frac{R}{2}$	Deformación Unitaria $\epsilon = \frac{\delta}{r_g}$	t	Fuerza ( C ) = $t^*(\approx N)$ [N]	Momento ( M ) = $(C*L)/6$ [N.mm]	Esfuerzo (σ) (M*c)/I [Mpa]
IV A 5	5	0.008552	834888.636	<b>1.02E-08</b>	92	902.244	35939.386	<b>0.06536</b>
	10	0.017104	417444.324	<b>4.10E-08</b>	105	1029.735	41017.778	<b>0.07460</b>
	15	0.025657	278296.223	<b>9.22E-08</b>	117	1147.419	45705.524	<b>0.08313</b>
	20	0.034209	208722.175	<b>1.64E-07</b>	129	1265.103	50393.270	<b>0.09165</b>
	25	0.042761	166977.748	<b>2.56E-07</b>	135	1323.945	52737.143	<b>0.09591</b>
	30	0.051313	139148.131	<b>3.69E-07</b>	147	1441.629	57424.889	<b>0.10444</b>
	35	0.059865	119269.834	<b>5.02E-07</b>	158	1549.506	61721.989	<b>0.11226</b>
	40	0.068418	104361.113	<b>6.56E-07</b>	169	1657.383	66019.090	<b>0.12007</b>
	45	0.076970	92765.442	<b>8.30E-07</b>	180	1765.260	70316.190	<b>0.12789</b>
	50	0.085522	83488.906	<b>1.02E-06</b>	195	1912.365	76175.873	<b>0.13854</b>
	55	0.094074	75899.014	<b>1.24E-06</b>	198	1941.786	77347.809	<b>0.14067</b>

IV A 6	5	0.008411	848944.000	<b>9.91E-09</b>	103	1010.121	40236.487	<b>0.07082</b>
	10	0.016821	424472.006	<b>3.96E-08</b>	116	1137.612	45314.878	<b>0.07976</b>
	15	0.025232	282981.345	<b>8.92E-08</b>	127	1245.489	49611.979	<b>0.08733</b>
	20	0.033642	212236.016	<b>1.59E-07</b>	135	1323.945	52737.143	<b>0.09283</b>
	25	0.042053	169788.820	<b>2.48E-07</b>	142	1392.594	55471.661	<b>0.09764</b>
	30	0.050464	141490.691	<b>3.57E-07</b>	150	1471.050	58596.825	<b>0.10314</b>
	35	0.058874	121277.743	<b>4.85E-07</b>	158	1549.506	61721.989	<b>0.10864</b>
	40	0.067285	106118.033	<b>6.34E-07</b>	168	1647.576	65628.444	<b>0.11552</b>
	45	0.075695	94327.149	<b>8.02E-07</b>	181	1775.067	70706.836	<b>0.12446</b>
	50	0.084106	84894.442	<b>9.91E-07</b>	192	1882.944	75003.936	<b>0.13202</b>
	55	0.092517	77176.773	<b>1.20E-06</b>	205	2010.435	80082.328	<b>0.14096</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio;  $\delta$  = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm], ver la ecuación ( $d_0 =$ ;  $\epsilon = \frac{\delta}{d_0}$ );  $r_g$  = radio de giro, ver la ecuación ( $r$ ); t = valor tomado del laboratorio [kg/cm<sup>2</sup>]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M =



## Anexo 12.2



2017-03-09

2017-04-06

**Título:** Resumen de resistencia a la flexión para el modelo especificadoTipo  
Modelo  
**IV  
B**

<b>I</b> largo [mm]	<b>a</b> ancho [mm]	<b>h</b> altura [mm]	<b>V</b> volumen [mm ]	<b>A</b> área [mm <sup>2</sup> ]	<b>C</b> $t^*(\approx N)$ [N]	<b>I</b> $(a^*h^3)/12$ [mm <sup>4</sup> ]	<b>L</b> [mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]
299.00	149.50	148.00	6615674.00	44700.50	ver a	4.039E+07	239.00		B 5		B 6
297.00	150.00	153.20	6825060.00	44550.00	continuación	4.495E+07	237.00				
0.080											
0.070											
0.060											
0.050											
0.040											
0.030											
0.020											
0.010											
0.000											
<p>Resistencia a compresión [MPa]</p> <p>Deformación unitaria [mm/mm]</p> <p>—●— B 5   —●— B 6</p>											
0.0E+00	2.0E-06	4.0E-06	6.0E-06	8.0E-06	1.0E-05	1.2E-05	1.4E-05	1.6E-05			

**Nota:** C = carga en Newtons [N]; t = valor en kg/cm , ver atrás;  $\approx N = 9.807$ ; I = inercia del polígono, ver la ecuación (i); L = distancia entre apoyos; M = momento, ver fórmula (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c =  $h/2$ .

Los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado (deformación c/10 unidades; de los valores registrados en el laboratorio).



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

Mu	D	Deformación δ [mm/mm]	radio de giro r <sup>g</sup> = ®	Deformación Unitaria ε = δ/r <sup>g</sup>	t	Fuerza ( C ) = t*(~N) [N]	Momento ( M ) = (C*L)/6 [N.mm]	Esfuerzo (σ) (M*c)/I [Mpa]
	5	0.00858	832077.56	<b>1.0E-08</b>	3	29.42	1171.94	<b>0.00215</b>
	10	0.01716	416038.79	<b>4.1E-08</b>	3	29.42	1171.94	<b>0.00215</b>
	15	0.02574	277359.20	<b>9.3E-08</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	20	0.03432	208019.41	<b>1.7E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	25	0.04291	166415.53	<b>2.6E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	30	0.05149	138679.62	<b>3.7E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	35	0.06007	118868.25	<b>5.1E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	40	0.06865	104009.73	<b>6.6E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	45	0.07723	92453.10	<b>8.4E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	50	0.08581	83207.80	<b>1.0E-06</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	55	0.09439	75643.46	<b>1.2E-06</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	60	0.10297	69339.85	<b>1.5E-06</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00501</b>
	65	0.11155	64006.02	<b>1.7E-06</b>	10	98.07	3906.46	<b>0.00716</b>
	70	0.12014	59434.17	<b>2.0E-06</b>	10	98.07	3906.46	<b>0.00716</b>
	75	0.12872	55471.90	<b>2.3E-06</b>	10	98.07	3906.46	<b>0.00716</b>
	80	0.13730	52004.92	<b>2.6E-06</b>	10	98.07	3906.46	<b>0.00716</b>
<b>IV</b>	85	0.14588	48945.81	<b>3.0E-06</b>	17	166.72	6640.97	<b>0.01217</b>
<b>B 5</b>	90	0.15446	46226.61	<b>3.3E-06</b>	17	166.72	6640.97	<b>0.01217</b>
	95	0.16304	43793.64	<b>3.7E-06</b>	17	166.72	6640.97	<b>0.01217</b>
	100	0.17162	41603.96	<b>4.1E-06</b>	20	196.14	7812.91	<b>0.01432</b>
	105	0.18020	39622.83	<b>4.5E-06</b>	20	196.14	7812.91	<b>0.01432</b>
	110	0.18878	37821.80	<b>5.0E-06</b>	24	235.37	9375.49	<b>0.01718</b>
	115	0.19736	36177.38	<b>5.5E-06</b>	24	235.37	9375.49	<b>0.01718</b>
	120	0.20595	34670.00	<b>5.9E-06</b>	27	264.79	10547.43	<b>0.01933</b>
	125	0.21453	33283.21	<b>6.4E-06</b>	34	333.44	13281.95	<b>0.02434</b>
	130	0.22311	32003.09	<b>7.0E-06</b>	37	362.86	14453.88	<b>0.02648</b>
	135	0.23169	30817.80	<b>7.5E-06</b>	37	362.86	14453.88	<b>0.02648</b>
	140	0.24027	29717.18	<b>8.1E-06</b>	41	402.09	16016.47	<b>0.02935</b>
	145	0.24885	28692.45	<b>8.7E-06</b>	48	470.74	18750.98	<b>0.03436</b>
	150	0.25743	27736.05	<b>9.3E-06</b>	48	470.74	18750.98	<b>0.03436</b>
	155	0.26601	26841.34	<b>9.9E-06</b>	48	470.74	18750.98	<b>0.03436</b>
	160	0.27459	26002.56	<b>1.1E-05</b>	48	470.74	18750.98	<b>0.03436</b>
	165	0.28318	25214.61	<b>1.1E-05</b>	48	470.74	18750.98	<b>0.03436</b>
	170	0.29176	24473.02	<b>1.2E-05</b>	48	470.74	18750.98	<b>0.03436</b>

## anexos

## UNIVERSIDAD DE CUENCA



<b>IV</b>	175	0.30034	23773.79	<b>1.3E-05</b>		48	470.74	18750.98	<b>0.03436</b>
<b>B 5</b>	180	0.30892	23113.42	<b>1.3E-05</b>		48	470.74	18750.98	<b>0.03436</b>
	5	0.00829	846957.76	<b>9.8E-09</b>		3	29.421	1162.1295	<b>0.00198</b>
	10	0.01658	423478.89	<b>3.9E-08</b>		3	29.421	1162.1295	<b>0.00198</b>
	15	0.02487	282319.26	<b>8.8E-08</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00462</b>
	20	0.03316	211739.46	<b>1.6E-07</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00462</b>
	25	0.04145	169391.57	<b>2.4E-07</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00462</b>
	30	0.04974	141159.65	<b>3.5E-07</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00462</b>
	35	0.05803	120993.99	<b>4.8E-07</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00462</b>
	40	0.06632	105869.75	<b>6.3E-07</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00660</b>
	45	0.07461	94106.45	<b>7.9E-07</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00660</b>
	50	0.08290	84695.82	<b>9.8E-07</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00660</b>
	55	0.09119	76996.21	<b>1.2E-06</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00660</b>
	60	0.09948	70579.86	<b>1.4E-06</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00660</b>
	65	0.10777	65150.65	<b>1.7E-06</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00660</b>
<b>IV</b>	70	0.11606	60497.04	<b>1.9E-06</b>		17	166.719	6585.4005	<b>0.01122</b>
<b>B 6</b>	75	0.12435	56463.91	<b>2.2E-06</b>		17	166.719	6585.4005	<b>0.01122</b>
	80	0.13264	52934.93	<b>2.5E-06</b>		20	196.14	7747.53	<b>0.01320</b>
	85	0.14093	49821.11	<b>2.8E-06</b>		24	235.368	9297.036	<b>0.01584</b>
	90	0.14922	47053.28	<b>3.2E-06</b>		27	264.789	10459.1655	<b>0.01783</b>
	95	0.15751	44576.80	<b>3.5E-06</b>		34	333.438	13170.801	<b>0.02245</b>
	100	0.16580	42347.97	<b>3.9E-06</b>		41	402.087	15882.4365	<b>0.02707</b>
	105	0.17409	40331.41	<b>4.3E-06</b>		51	500.157	19756.2015	<b>0.03367</b>
	110	0.18238	38498.17	<b>4.7E-06</b>		58	568.806	22467.837	<b>0.03829</b>
	115	0.19067	36824.35	<b>5.2E-06</b>		71	696.297	27503.7315	<b>0.04687</b>
	120	0.19896	35290.01	<b>5.6E-06</b>		75	735.525	29053.2375	<b>0.04952</b>
	125	0.20725	33878.41	<b>6.1E-06</b>		88	863.016	34089.132	<b>0.05810</b>
	130	0.21554	32575.41	<b>6.6E-06</b>		99	970.893	38350.2735	<b>0.06536</b>
	135	0.22383	31368.92	<b>7.1E-06</b>		112	1098.384	43386.168	<b>0.07394</b>
	140	0.23211	30248.61	<b>7.7E-06</b>		112	1098.384	43386.168	<b>0.07394</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio; δ = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra[mm], ver la ecuación ( $d=$ ;  $\epsilon =$  deformación unitaria =  $\delta/r$ ;  $r$  = radio de giro, ver la ecuación ( $r$ );  $t$  = valor tomado del laboratorio [kg/cm<sup>2</sup>]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación (m); σ = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.

Anexo 12.3



2017-03-09

2017-04-06

**Título:** Resumen de resistencia a la flexión para el modelo especificado

**IV**  
**C**

<b>l</b>	<b>a</b>	<b>h</b>	<b>V</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>I</b>	<b>L</b>	<b>Esfuerzo (<math>\sigma</math>)</b>	<b>Deformación</b>	<b>Esfuerzo (<math>\sigma</math>)</b>	<b>Deformación</b>
largo	ancho	altura	volumen	área	$t^*(\approx N)$	$(a^*h^3)/12$	[mm]	$(M^*c)/I$	Unitaria	$(M^*c)/I$	Unitaria
[mm]	[mm]	[mm]	[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>2</sup> ]	[N]	[mm <sup>4</sup> ]		[Mpa]	[mm/mm]	[Mpa]	[mm/mm]
299.00	150.10	151.70	6808280.83	44879.90	ver a	4.367E+07	239.00				
298.00	149.40	152.35	6782804.82	44521.20	continuación	4.402E+07	238.00				
<p>Resistencia a compresión [MPa]</p> <p>Deformación unitaria [mm/mm]</p> <p>● C 5   ● C 6</p>											
								<b>C 5</b>		<b>C 6</b>	
								<b>0.09093</b>	9.82E-09	<b>0.06192</b>	9.81E-09
								<b>0.10043</b>	3.93E-08	<b>0.07068</b>	3.93E-08
								<b>0.09907</b>	8.83E-08	<b>0.07202</b>	8.83E-08
								<b>0.10789</b>	1.57E-07	<b>0.08885</b>	1.57E-07
								<b>0.11196</b>	2.45E-07	<b>0.09289</b>	2.45E-07
								<b>0.11400</b>	3.53E-07	<b>0.09895</b>	3.53E-07
								<b>0.11106</b>		<b>0.11106</b>	4.81E-07
								<b>0.11443</b>		<b>0.11443</b>	6.28E-07
								<b>0.11914</b>		<b>0.11914</b>	7.95E-07

**Nota:** C = carga en Newtons [N]; t = valor en kg/cm , ver atrás;  $\approx N = 9.807$ ; I = inercia del polígono, ver la ecuación (i); L = distancia entre apoyos; M = momento, ver fórmula (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2);  $c = h/2$ .

Los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado (deformación c/5 unidades; de los valores registrados en el laboratorio).



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

Mu	D	Deformación $\delta$ [mm/mm]	radio de giro $r_g = \frac{t}{\delta}$	Deformación Unitaria $\epsilon = \delta / r_g$	t	Fuerza ( C ) = $t^*(\approx N)$ [N]	Momento ( M ) = $(C*L)/6$ [N.mm]	Esfuerzo (σ) $(M*c)/I$ [Mpa]
<b>IV</b> <b>C 5</b>	5	0.008372	852879.502	<b>9.82E-09</b>	134	1314.138	52346.497	<b>0.09093</b>
	10	0.016744	426439.757	<b>3.93E-08</b>	148	1451.436	57815.534	<b>0.10043</b>
	15	0.025115	284293.179	<b>8.83E-08</b>	146	1431.822	57034.243	<b>0.09907</b>
	20	0.033487	213219.891	<b>1.57E-07</b>	159	1559.313	62112.635	<b>0.10789</b>
	25	0.041859	170575.921	<b>2.45E-07</b>	165	1618.155	64456.508	<b>0.11196</b>
	30	0.050231	142146.608	<b>3.53E-07</b>	168	1647.576	65628.444	<b>0.11400</b>

<b>IV</b> <b>C 6</b>	5	0.008336	849381.244	<b>9.81E-09</b>	92	902.244	35789.012	<b>0.06192</b>
	10	0.016672	424690.628	<b>3.93E-08</b>	105	1029.735	40846.155	<b>0.07068</b>
	15	0.025008	283127.093	<b>8.83E-08</b>	107	1049.349	41624.177	<b>0.07202</b>
	20	0.033344	212345.327	<b>1.57E-07</b>	132	1294.524	51349.452	<b>0.08885</b>
	25	0.041680	169876.269	<b>2.45E-07</b>	138	1353.366	53683.518	<b>0.09289</b>
	30	0.050016	141563.565	<b>3.53E-07</b>	147	1441.629	57184.617	<b>0.09895</b>
	35	0.058352	121340.206	<b>4.81E-07</b>	165	1618.155	64186.815	<b>0.11106</b>
	40	0.066689	106172.688	<b>6.28E-07</b>	170	1667.190	66131.870	<b>0.11443</b>
	45	0.075025	94375.731	<b>7.95E-07</b>	177	1735.839	68854.947	<b>0.11914</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio;  $\delta$  = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm], ver la ecuación ( $d_0 =$ ;  $\epsilon =$  deformación unitaria =  $\delta / r_g$ ;  $r_g$  = radio de giro, ver la ecuación ( $r$ ); t = valor tomado del laboratorio [kg/cm<sup>2</sup>]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2);  $c = h/2$ .



## Anexo 12.4



2017-03-15

2017-04-12

Título: Resumen de resistencia a la flexión para el modelo especificado

Tipo  
IV  
Modelo  
D

<b>l</b> largo [mm]	<b>a</b> ancho [mm]	<b>h</b> altura [mm]	<b>V</b> volumen [mm <sup>3</sup> ]	<b>A</b> área [mm <sup>2</sup> ]	<b>C</b> $t^*(\approx N)$ [N]	<b>I</b> $(a^*h^3)/12$ [mm <sup>4</sup> ]	<b>L</b> [mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]
298.50	149.10	152.70	6796119.65	44506.35	ver a continuación	4.424E+07	238.50	D 5		D 6	
298.00	148.80	153.50	6806558.40	44342.40		4.485E+07	238.00				
<p>Resistencia a compresión [MPa]</p> <p>Deformación unitaria [mm/mm]</p> <p>—●— D 5   —●— D 6</p>											
0.160								0.10428	9.73E-09	0.10186	9.67E-09
0.140								0.10899	3.89E-08	0.10718	3.87E-08
0.120								0.11437	8.76E-08	0.11650	8.70E-08
0.100								0.11639	1.56E-07	0.11783	1.55E-07
0.080								0.11841	2.43E-07	0.12249	2.42E-07
0.060								0.12783	3.50E-07	0.12715	3.48E-07
0.040								0.13455	4.77E-07	0.13847	4.74E-07
0.020								0.13792	6.23E-07	0.14380	6.19E-07
0.000								0.14196	7.88E-07	0.15112	7.83E-07
0.0E+00	2.0E-07	4.0E-07	6.0E-07	8.0E-07	1.0E-06	1.2E-06	1.4E-06	0.14532	9.73E-07	0.15245	9.67E-07

**Nota:** C = carga en Newtons [N]; t = valor en kg/cm , ver atrás;  $\approx N = 9.807$ ; I = inercia del polígono, ver la ecuación (i); L = distancia entre apoyos; M = momento, ver fórmula (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c =  $h/2$ .

Los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado (deformación c/5 unidades; de los valores registrados en el laboratorio).



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

Mu	D	Deformación $\delta$ [mm/mm]	radio de giro $r_g = \textcircled{R}$	Deformación Unitaria $\epsilon = \delta/r_g$	t	Fuerza ( C ) = $t^*(\approx N)$ [N]	Momento ( M ) = $(C*L)/6$ [N.mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]
<b>IV</b> <b>D 5</b>	5	0.008317	854913.348	<b>9.73E-09</b>	155	1520.085	60423.379	<b>0.10428</b>
	10	0.016634	427456.680	<b>3.89E-08</b>	162	1588.734	63152.177	<b>0.10899</b>
	15	0.024951	284971.127	<b>8.76E-08</b>	170	1667.190	66270.803	<b>0.11437</b>
	20	0.033268	213728.353	<b>1.56E-07</b>	173	1696.611	67440.287	<b>0.11639</b>
	25	0.041585	170982.690	<b>2.43E-07</b>	176	1726.032	68609.772	<b>0.11841</b>
	30	0.049902	142485.582	<b>3.50E-07</b>	190	1863.330	74067.368	<b>0.12783</b>
	35	0.058219	122130.507	<b>4.77E-07</b>	200	1961.400	77965.650	<b>0.13455</b>
	40	0.066536	106864.201	<b>6.23E-07</b>	205	2010.435	79914.791	<b>0.13792</b>
	45	0.074853	94990.409	<b>7.88E-07</b>	211	2069.277	82253.761	<b>0.14196</b>
	50	0.083170	85491.376	<b>9.73E-07</b>	216	2118.312	84202.902	<b>0.14532</b>

<b>IV</b> <b>D 6</b>	5	0.008274	855792.721	<b>9.67E-09</b>	153	1500.471	59518.683	<b>0.10186</b>
	10	0.016547	427896.367	<b>3.87E-08</b>	161	1578.927	62630.771	<b>0.10718</b>
	15	0.024821	285264.251	<b>8.70E-08</b>	175	1716.225	68076.925	<b>0.11650</b>
	20	0.033094	213948.196	<b>1.55E-07</b>	177	1735.839	68854.947	<b>0.11783</b>
	25	0.041368	171158.564	<b>2.42E-07</b>	184	1804.488	71578.024	<b>0.12249</b>
	30	0.049642	142632.144	<b>3.48E-07</b>	191	1873.137	74301.101	<b>0.12715</b>
	35	0.057915	122256.131	<b>4.74E-07</b>	208	2039.856	80914.288	<b>0.13847</b>
	40	0.066189	106974.123	<b>6.19E-07</b>	216	2118.312	84026.376	<b>0.14380</b>
	45	0.074463	95088.117	<b>7.83E-07</b>	227	2226.189	88305.497	<b>0.15112</b>
	50	0.082736	85579.313	<b>9.67E-07</b>	229	2245.803	89083.519	<b>0.15245</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio;  $\delta$  = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm], ver la ecuación ( $d_0 =$ ;  $\epsilon =$  deformación unitaria =  $\delta/r_g$ ;  $r_g$  = radio de giro, ver la ecuación (r); t = valor tomado del laboratorio [kg/cm]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.



## Anexo 12.5



2017-04-21

2017-05-19

**Título:** Resumen de resistencia a la flexión para el modelo especificadoTipo  
IV  
Modelo  
E

largo [mm]	a [mm]	h [mm]	V volumen [mm ]	A área [mm <sup>2</sup> ]	C t*(≈N) [N]	I (a*h <sup>3</sup> )/12 [mm <sup>4</sup> ]	L [mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]
297.50	148.90	150.30	6657951.83	44297.75	ver a continuación	4.213E+07	237.50				
297.00	149.41	154.50	6855901.97	44374.77		4.592E+07	237.00				
<p>Resistencia a compresión [MPa]</p> <p>Deformación unitaria [mm/mm]</p> <p>● E 5   ● E 6</p>											
0.00465	6.13E-07	0.01329	3.83E-06								
0.00465	7.76E-07	0.01329	4.22E-06								
0.00465	9.57E-07	0.01595	4.63E-06								
0.00465	1.16E-06	0.01595	5.06E-06								
0.00465	1.38E-06	0.01794	5.51E-06								
0.00665	1.62E-06	0.02259	5.98E-06								
0.00665	1.88E-06	0.02459	6.47E-06								
0.00665	2.15E-06	0.02459	6.98E-06								
0.00665	2.45E-06	0.02725	7.51E-06								
0.01130	2.77E-06	0.03190	8.05E-06								
0.01130	3.10E-06										

**Nota:** C = carga en Newtons [N]; t = valor en kg/cm , ver atrás; ≈N = 9.807; I = inercia del polígono, ver la ecuación (i); L = distancia entre apoyos; M = momento, ver fórmula (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.

Los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado (deformación c/5 unidades; de los valores registrados en el laboratorio).



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

Mu	D	Deformación $\delta$ [mm/mm]	radio de giro $r_g = \textcircled{R}$	Deformación Unitaria $\epsilon = \delta/r_g$	t	Fuerza ( C ) = t*(~N) [N]	Momento ( M ) = (C*L)/6 [N.mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]
IV E 5	5	0.008450	834434.982	<b>1.01E-08</b>	165	1618.155	64051.969	<b>0.11425</b>
	10	0.016900	417217.497	<b>4.05E-08</b>	167	1637.769	64828.356	<b>0.11564</b>
	15	0.025349	278145.005	<b>9.11E-08</b>	168	1647.576	65216.550	<b>0.11633</b>
	20	0.033799	208608.761	<b>1.62E-07</b>	172	1686.804	66769.325	<b>0.11910</b>
	25	0.042249	166887.017	<b>2.53E-07</b>	174	1706.418	67545.713	<b>0.12049</b>
	30	0.050699	139072.522	<b>3.65E-07</b>	177	1735.839	68710.294	<b>0.12256</b>
	35	0.059148	119205.026	<b>4.96E-07</b>	180	1765.260	69874.875	<b>0.12464</b>
	40	0.067598	104304.406	<b>6.48E-07</b>	182	1784.874	70651.263	<b>0.12603</b>
	45	0.076048	92715.036	<b>8.20E-07</b>	186	1824.102	72204.038	<b>0.12880</b>
	50	0.084498	83443.540	<b>1.01E-06</b>	187	1833.909	72592.231	<b>0.12949</b>
	55	0.092947	75857.772	<b>1.23E-06</b>	188	1843.716	72980.425	<b>0.13018</b>

IV E 6	5	0.008220	854144.738	<b>9.62E-09</b>	123	1206.261	47647.310	<b>0.08016</b>
	10	0.016440	427072.375	<b>3.85E-08</b>	126	1235.682	48809.439	<b>0.08211</b>
	15	0.024660	284714.924	<b>8.66E-08</b>	131	1284.717	50746.322	<b>0.08537</b>
	20	0.032880	213536.200	<b>1.54E-07</b>	132	1294.524	51133.698	<b>0.08602</b>
	25	0.041100	170828.967	<b>2.41E-07</b>	134	1314.138	51908.451	<b>0.08733</b>
	30	0.049320	142357.480	<b>3.46E-07</b>	142	1392.594	55007.463	<b>0.09254</b>
	35	0.057540	122020.705	<b>4.72E-07</b>	153	1500.471	59268.605	<b>0.09971</b>
	40	0.065761	106768.125	<b>6.16E-07</b>	161	1578.927	62367.617	<b>0.10492</b>
	45	0.073981	94905.007	<b>7.80E-07</b>	172	1686.804	66628.758	<b>0.11209</b>
	50	0.082201	85414.515	<b>9.62E-07</b>	182	1784.874	70502.523	<b>0.11861</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio;  $\delta$  = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm], ver la ecuación ( $d_0 =$ ;  $\epsilon =$  deformación unitaria =  $\delta/r_g$ ;  $r_g$  = radio de giro, ver la ecuación ( $r$ ); t = valor tomado del laboratorio [kg/cm]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.



## Anexo 12.6



2017-04-21

2017-05-19

Título: Resumen de resistencia a la flexión para el modelo especificado

Tipo  
IV  
Modelo  
F

largo [mm]	a [mm]	h [mm]	V volumen [mm ]	A área [mm <sup>2</sup> ]	C $t^*(\approx N)$ [N]	I $(a^*h^3)/12$ [mm <sup>4</sup> ]	L [mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]
299.00	149.50	153.60	6865996.80	44700.50	ver a	4.515E+07	239.00				
297.00	150.00	150.65	6711457.50	44550.00	continuación	4.274E+07	237.00				
<p>Resistencia a compresión [MPa]</p> <p>Deformación unitaria [mm/mm]</p> <p>—●— F 5   —●— F 6</p>											
0.00199	3.83E-08	0.00205	4.05E-08								
0.00465	1.53E-07	0.00478	1.62E-07								
0.00465	3.45E-07	0.00478	3.64E-07								
0.00465	6.13E-07	0.00683	6.48E-07								
0.00465	9.57E-07	0.00683	1.01E-06								
0.00465	1.38E-06	0.00683	1.46E-06								
0.00665	1.88E-06	0.01161	1.98E-06								
0.00665	2.45E-06	0.01365	2.59E-06								
0.01130	3.10E-06	0.01843	3.28E-06								
0.01329	3.83E-06	0.02799	4.05E-06								
0.01595	4.63E-06	0.03960	4.90E-06								
0.01794	5.51E-06	0.05121	5.83E-06								
0.02459	6.47E-06	0.06281	6.84E-06								
0.02725	7.51E-06										

**Nota:** C = carga en Newtons [N]; t = valor en kg/cm , ver atrás;  $\approx N = 9.807$ ; I = inercia del polígono, ver la ecuación (i); L = distancia entre apoyos; M = momento, ver fórmula (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c =  $h/2$ .

Los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado (deformación c/10 unidades; de los valores registrados en el laboratorio).



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

Mu	D	Deformación $\delta$ [mm/mm]	radio de giro $r_g = \textcircled{R}$	Deformación Unitaria $\epsilon = \delta/r_g$	t	Fuerza ( C ) = t*(≈N) [N]	Momento ( M ) = (C*L)/6 [N.mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]
IV F 5	5	0.00827	863561.58	<b>9.6E-09</b>	3	29.42	1171.94	<b>0.00199</b>
	10	0.01654	431780.80	<b>3.8E-08</b>	3	29.42	1171.94	<b>0.00199</b>
	15	0.02480	287853.87	<b>8.6E-08</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	20	0.03307	215890.41	<b>1.5E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	25	0.04134	172712.34	<b>2.4E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	0	0.00000	0.00	<b>0.0E+00</b>	0	0.00	0.00	<b>0.00000</b>
	0	0.00000	0.00	<b>0.0E+00</b>	0	0.00	0.00	<b>0.00000</b>
	30	0.04961	143926.95	<b>3.4E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	35	0.05788	123365.97	<b>4.7E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	40	0.06615	107945.23	<b>6.1E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	45	0.07441	95951.32	<b>7.8E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	50	0.08268	86356.20	<b>9.6E-07</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	55	0.09095	78505.64	<b>1.2E-06</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	60	0.09922	71963.51	<b>1.4E-06</b>	7	68.65	2734.52	<b>0.00465</b>
	65	0.10749	66427.87	<b>1.6E-06</b>	10	98.07	3906.46	<b>0.00665</b>
	70	0.11576	61683.03	<b>1.9E-06</b>	10	98.07	3906.46	<b>0.00665</b>
	75	0.12402	57570.83	<b>2.2E-06</b>	10	98.07	3906.46	<b>0.00665</b>
	80	0.13229	53972.66	<b>2.5E-06</b>	10	98.07	3906.46	<b>0.00665</b>
	85	0.14056	50797.81	<b>2.8E-06</b>	17	166.72	6640.97	<b>0.01130</b>
	90	0.14883	47975.72	<b>3.1E-06</b>	17	166.72	6640.97	<b>0.01130</b>
	95	0.15710	45450.69	<b>3.5E-06</b>	17	166.72	6640.97	<b>0.01130</b>
	100	0.16536	43178.16	<b>3.8E-06</b>	20	196.14	7812.91	<b>0.01329</b>
	105	0.17363	41122.07	<b>4.2E-06</b>	20	196.14	7812.91	<b>0.01329</b>
	110	0.18190	39252.89	<b>4.6E-06</b>	24	235.37	9375.49	<b>0.01595</b>
	115	0.19017	37546.25	<b>5.1E-06</b>	24	235.37	9375.49	<b>0.01595</b>
	120	0.19844	35981.83	<b>5.5E-06</b>	27	264.79	10547.43	<b>0.01794</b>
	125	0.20671	34542.57	<b>6.0E-06</b>	34	333.44	13281.95	<b>0.02259</b>
	130	0.21497	33214.01	<b>6.5E-06</b>	37	362.86	14453.88	<b>0.02459</b>
	135	0.22324	31983.87	<b>7.0E-06</b>	37	362.86	14453.88	<b>0.02459</b>
	140	0.23151	30841.60	<b>7.5E-06</b>	41	402.09	16016.47	<b>0.02725</b>
	145	0.23978	29778.11	<b>8.1E-06</b>	48	470.74	18750.98	<b>0.03190</b>



	5	0.00843	832860.23	<b>1.0E-08</b>		3	29.42	1162.13	<b>0.00205</b>
	10	0.01686	416430.12	<b>4.0E-08</b>		3	29.42	1162.13	<b>0.00205</b>
	15	0.02529	277620.09	<b>9.1E-08</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00478</b>
	20	0.03372	208215.07	<b>1.6E-07</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00478</b>
	25	0.04215	166572.07	<b>2.5E-07</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00478</b>
	30	0.05058	138810.06	<b>3.6E-07</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00478</b>
	35	0.05901	118980.06	<b>5.0E-07</b>		7	68.649	2711.6355	<b>0.00478</b>
	40	0.06744	104107.56	<b>6.5E-07</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00683</b>
	45	0.07587	92540.06	<b>8.2E-07</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00683</b>
	50	0.08430	83286.06	<b>1.0E-06</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00683</b>
	55	0.09273	75714.61	<b>1.2E-06</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00683</b>
	60	0.10116	69405.07	<b>1.5E-06</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00683</b>
<b>IV</b>	65	0.10959	64066.23	<b>1.7E-06</b>		10	98.07	3873.765	<b>0.00683</b>
<b>F 6</b>	70	0.11802	59490.07	<b>2.0E-06</b>		17	166.719	6585.4005	<b>0.01161</b>
	75	0.12645	55524.08	<b>2.3E-06</b>		17	166.719	6585.4005	<b>0.01161</b>
	80	0.13488	52053.83	<b>2.6E-06</b>		20	196.14	7747.53	<b>0.01365</b>
	85	0.14331	48991.85	<b>2.9E-06</b>		24	235.368	9297.036	<b>0.01639</b>
	90	0.15174	46270.09	<b>3.3E-06</b>		27	264.789	10459.1655	<b>0.01843</b>
	95	0.16017	43834.83	<b>3.7E-06</b>		34	333.438	13170.801	<b>0.02321</b>
	100	0.16860	41643.10	<b>4.0E-06</b>		41	402.087	15882.4365	<b>0.02799</b>
	105	0.17703	39660.10	<b>4.5E-06</b>		51	500.157	19756.2015	<b>0.03482</b>
	110	0.18546	37857.38	<b>4.9E-06</b>		58	568.806	22467.837	<b>0.03960</b>
	115	0.19389	36211.41	<b>5.4E-06</b>		71	696.297	27503.7315	<b>0.04847</b>
	120	0.20232	34702.61	<b>5.8E-06</b>		75	735.525	29053.2375	<b>0.05121</b>
	125	0.21075	33314.51	<b>6.3E-06</b>		88	863.016	34089.132	<b>0.06008</b>
	130	0.21918	32033.20	<b>6.8E-06</b>		92	902.244	35638.638	<b>0.06281</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio; δ = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra[mm], ver la ecuación ( $d_0=$ ;  $\varepsilon = \text{deformación unitaria} = \delta/r^q$ ;  $r^q = \text{radio de giro}$ , ver la ecuación ( $r$ ); t = valor tomado del laboratorio [kg/cm]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación (m); σ = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.



## Anexo 12.7



2017-04-21

2017-05-19

**Título:** Resumen de resistencia a la flexión para el modelo especificadoTipo  
IV  
Modelo  
G

largo [mm]	a [mm]	h [mm]	V [mm ]	A [mm <sup>2</sup> ]	C [N]	I (a*h <sup>3</sup> )/12 [mm <sup>4</sup> ]	L [mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]	Deformación Unitaria [mm/mm]
300.00	148.70	148.80	6637968.00	44610.00	ver a	4.083E+07	240.00				
300.00	149.50	155.00	6951750.00	44850.00	continuación	4.639E+07	240.00				
0.030											
0.025											
0.020											
0.015											
0.010											
0.005											
0.000											
Resistencia a compresión [MPa]											
Deformación unitaria [mm/mm]											
<span style="color:red;">●</span> G 5 <span style="color:black;">●</span> G 6											

**Nota:** C = carga en Newtons [N]; t = valor en kg/cm<sup>2</sup>, ver atrás;  $\approx N = 9.807$ ; I = inercia del polígono, ver la ecuación (i); L = distancia entre apoyos; M = momento, ver fórmula (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.

Los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado (deformación c/25 unidades; de los valores registrados en el laboratorio).



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

Mu	D	Deformación $\delta$ [mm/mm]	radio de giro $r_g = \frac{I}{\delta}$	Deformación Unitaria $\epsilon = \frac{\delta}{r_g}$	t	Fuerza ( C ) = $t^*(\approx N)$ [N]	Momento ( M ) = $(C*L)/6$ [N.mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) $(M*c)/I$ [Mpa]
	5	0.00853	843590.56	<b>1.01E-08</b>	7	68.649	2745.96	<b>0.00500</b>
	10	0.01707	421795.28	<b>4.05E-08</b>	7	68.649	2745.96	<b>0.00500</b>
	15	0.02560	281196.86	<b>9.11E-08</b>	7	68.649	2745.96	<b>0.00500</b>
	20	0.03414	210897.65	<b>1.62E-07</b>	7	68.649	2745.96	<b>0.00500</b>
	25	0.04267	168718.13	<b>2.53E-07</b>	7	68.649	2745.96	<b>0.00500</b>
	30	0.05121	140598.45	<b>3.64E-07</b>	7	68.649	2745.96	<b>0.00500</b>
	35	0.05974	120512.97	<b>4.96E-07</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	40	0.06828	105448.85	<b>6.48E-07</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	45	0.07681	93732.32	<b>8.20E-07</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	50	0.08535	84359.10	<b>1.01E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	55	0.09388	76690.10	<b>1.22E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	60	0.10242	70299.26	<b>1.46E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	65	0.11095	64891.64	<b>1.71E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	70	0.11949	60256.53	<b>1.98E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	75	0.12802	56239.43	<b>2.28E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	80	0.13656	52724.48	<b>2.59E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
<b>IV</b>	85	0.14509	49623.05	<b>2.92E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
<b>G 5</b>	90	0.15363	46866.22	<b>3.28E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	95	0.16216	44399.58	<b>3.65E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	100	0.17070	42179.61	<b>4.05E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	105	0.17923	40171.07	<b>4.46E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	110	0.18777	38345.12	<b>4.90E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	115	0.19630	36677.95	<b>5.35E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	120	0.20484	35149.71	<b>5.83E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	125	0.21337	33743.73	<b>6.32E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	130	0.22191	32445.90	<b>6.84E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	135	0.23044	31244.21	<b>7.38E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	140	0.23898	30128.35	<b>7.93E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	145	0.24751	29089.45	<b>8.51E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	150	0.25605	28119.81	<b>9.11E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	155	0.26458	27212.73	<b>9.72E-06</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	160	0.27312	26362.34	<b>1.04E-05</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	165	0.28165	25563.49	<b>1.10E-05</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>
	170	0.29019	24811.63	<b>1.17E-05</b>	10	98.070	3922.80	<b>0.00715</b>



<b>IV G 5</b>	175	0.29872	24102.74	<b>1.2E-05</b>		10	98.07	3922.8	<b>0.00715</b>
	180	0.30726	23433.22	<b>1.3E-05</b>		10	98.07	3922.8	<b>0.00715</b>
	185	0.31579	22799.90	<b>1.4E-05</b>		10	98.07	3922.8	<b>0.00715</b>
	190	0.32433	22199.91	<b>1.5E-05</b>		10	98.07	3922.8	<b>0.00715</b>
	195	0.33286	21630.69	<b>1.5E-05</b>		10	98.07	3922.8	<b>0.00715</b>
	200	0.34140	21089.93	<b>1.6E-05</b>		10	98.07	3922.8	<b>0.00715</b>
	205	0.34993	20575.55	<b>1.7E-05</b>		10	98.07	3922.8	<b>0.00715</b>
	210	0.35847	20085.67	<b>1.8E-05</b>		17	166.719	6668.76	<b>0.01215</b>
	215	0.36700	19618.57	<b>1.9E-05</b>		17	166.719	6668.76	<b>0.01215</b>
	220	0.37554	19172.70	<b>2.0E-05</b>		17	166.719	6668.76	<b>0.01215</b>
	225	0.38407	18746.65	<b>2.0E-05</b>		19	186.333	7453.32	<b>0.01358</b>
	230	0.39261	18339.12	<b>2.1E-05</b>		19	186.333	7453.32	<b>0.01358</b>
	235	0.40114	17948.94	<b>2.2E-05</b>		20	196.14	7845.6	<b>0.01430</b>
	240	0.40968	17575.01	<b>2.3E-05</b>		21	205.947	8237.88	<b>0.01501</b>
	245	0.41821	17216.34	<b>2.4E-05</b>		21	205.947	8237.88	<b>0.01501</b>
	250	0.42675	16872.02	<b>2.5E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01716</b>
	255	0.43528	16541.21	<b>2.6E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01716</b>
	260	0.44382	16223.12	<b>2.7E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01716</b>
	265	0.45235	15917.03	<b>2.8E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01930</b>
	270	0.46089	15622.28	<b>3.0E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01930</b>
	275	0.46942	15338.24	<b>3.1E-05</b>		31	304.017	12160.68	<b>0.02216</b>
	280	0.47796	15064.36	<b>3.2E-05</b>		31	304.017	12160.68	<b>0.02216</b>
	285	0.48649	14800.08	<b>3.3E-05</b>		35	343.245	13729.8	<b>0.02502</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio;  $\delta$  = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm], ver la ecuación ( $d_0 =$ ;  $\epsilon =$  deformación unitaria =  $\delta/r^g$ ;  $r^g$  = radio de giro, ver la ecuación ( $r$ ); t = valor tomado del laboratorio [kg/cm<sup>2</sup>]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación ( $m$ );  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación ( $d_2$ );  $c = h/2$ .



5	0.00819	878740.16	<b>9.3E-09</b>		17	166.719	6668.76	<b>0.01114</b>
10	0.01639	439370.09	<b>3.7E-08</b>		17	166.719	6668.76	<b>0.01114</b>
15	0.02458	292913.40	<b>8.4E-08</b>		17	166.719	6668.76	<b>0.01114</b>
20	0.03277	219685.06	<b>1.5E-07</b>		17	166.719	6668.76	<b>0.01114</b>
25	0.04097	175748.05	<b>2.3E-07</b>		17	166.719	6668.76	<b>0.01114</b>
30	0.04916	146456.72	<b>3.4E-07</b>		20	196.14	7845.6	<b>0.01311</b>
35	0.05735	125534.34	<b>4.6E-07</b>		20	196.14	7845.6	<b>0.01311</b>
40	0.06555	109842.55	<b>6.0E-07</b>		20	196.14	7845.6	<b>0.01311</b>
45	0.07374	97637.83	<b>7.6E-07</b>		20	196.14	7845.6	<b>0.01311</b>
50	0.08194	87874.06	<b>9.3E-07</b>		20	196.14	7845.6	<b>0.01311</b>
55	0.09013	79885.51	<b>1.1E-06</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01573</b>
60	0.09832	73228.40	<b>1.3E-06</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01573</b>
65	0.10652	67595.45	<b>1.6E-06</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01573</b>
70	0.11471	62767.21	<b>1.8E-06</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01573</b>
75	0.12290	58582.74	<b>2.1E-06</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
80	0.13110	54921.33	<b>2.4E-06</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
85	0.13929	51690.67	<b>2.7E-06</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
90	0.14748	48818.97	<b>3.0E-06</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
IV	95	0.15568	46249.56	<b>3.4E-06</b>	27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
G 6	100	0.16387	43937.09	<b>3.7E-06</b>	27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
	105	0.17206	41844.86	<b>4.1E-06</b>	27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
	110	0.18026	39942.82	<b>4.5E-06</b>	27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
	115	0.18845	38206.19	<b>4.9E-06</b>	27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
	120	0.19665	36614.27	<b>5.4E-06</b>	27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
	125	0.20484	35149.71	<b>5.8E-06</b>	27	264.789	10591.56	<b>0.01769</b>
	130	0.21303	33797.80	<b>6.3E-06</b>	34	333.438	13337.52	<b>0.02228</b>
	135	0.22123	32546.04	<b>6.8E-06</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	140	0.22942	31383.69	<b>7.3E-06</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	145	0.23761	30301.50	<b>7.8E-06</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	150	0.24581	29291.46	<b>8.4E-06</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	155	0.25400	28346.58	<b>9.0E-06</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	160	0.26219	27460.76	<b>9.5E-06</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	165	0.27039	26628.62	<b>1.0E-05</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	170	0.27858	25845.44	<b>1.1E-05</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	175	0.28677	25107.01	<b>1.1E-05</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	180	0.29497	24409.60	<b>1.2E-05</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	185	0.30316	23749.89	<b>1.3E-05</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	190	0.31135	23124.90	<b>1.3E-05</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	195	0.31955	22531.96	<b>1.4E-05</b>	37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>



	200	0.32774	21968.67	<b>1.5E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	205	0.33594	21432.85	<b>1.6E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	210	0.34413	20922.56	<b>1.6E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	215	0.35232	20435.99	<b>1.7E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	220	0.36052	19971.55	<b>1.8E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	225	0.36871	19527.74	<b>1.9E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	230	0.37690	19103.24	<b>2.0E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	235	0.38510	18696.79	<b>2.1E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	240	0.39329	18307.28	<b>2.1E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
<b>IV G 6</b>	245	0.40148	17933.67	<b>2.2E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	250	0.40968	17575.01	<b>2.3E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	255	0.41787	17230.41	<b>2.4E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	260	0.42606	16899.06	<b>2.5E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	265	0.43426	16580.22	<b>2.6E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	270	0.44245	16273.19	<b>2.7E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	275	0.45065	15977.32	<b>2.8E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	280	0.45884	15692.02	<b>2.9E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	285	0.46703	15416.73	<b>3.0E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	290	0.47523	15150.93	<b>3.1E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	295	0.48342	14894.14	<b>3.2E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>
	300	0.49161	14645.92	<b>3.4E-05</b>		37	362.859	14514.36	<b>0.02425</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio;  $\delta$  = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm], ver la ecuación ( $d_0 =$ ;  $\epsilon =$  deformación unitaria  $= \delta/r_g$ ;  $r_g$  = radio de giro, ver la ecuación ( $r$ ); t = valor tomado del laboratorio [kg/cm<sup>2</sup>]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación ( $m$ );  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación ( $d_2$ ); c =  $h/2$ .



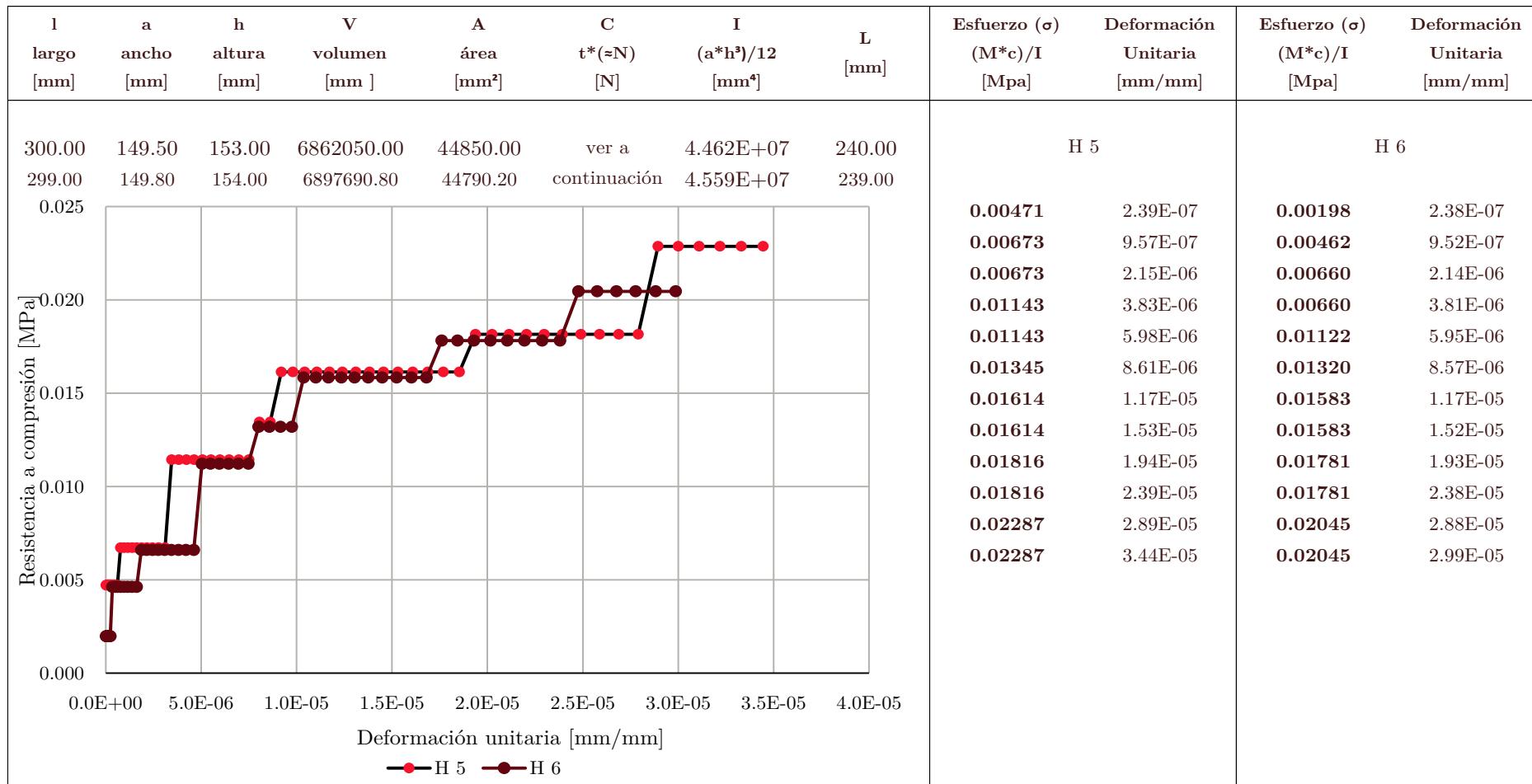
## Anexo 12.8



2017-04-22

2017-05-20

Título: Resumen de resistencia a la flexión para el modelo especificado

Tipo  
Modelo  
**IV  
H**

**Nota:** C = carga en Newtons [N]; t = valor en kg/cm , ver atrás;  $\approx N = 9.807$ ; I = inercia del polígono, ver la ecuación (i); L = distancia entre apoyos; M = momento, ver fórmula (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.

Los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado (deformación c/25 unidades; de los valores registrados en el laboratorio).



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

Mu	D	Deformación $\delta$ [mm/mm]	radio de giro $r_g = \textcircled{R}$	Deformación Unitaria $\epsilon = \delta/r_g$	t	Fuerza ( C ) = t*(~N) [N]	Momento ( M ) = (C*L)/6 [N.mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]
IV	5	0.00830	867401.58	<b>9.6E-09</b>	7	68.65	2745.96	<b>0.00471</b>
	10	0.01660	433700.80	<b>3.8E-08</b>	7	68.65	2745.96	<b>0.00471</b>
	15	0.02490	289133.87	<b>8.6E-08</b>	7	68.65	2745.96	<b>0.00471</b>
	20	0.03320	216850.41	<b>1.5E-07</b>	7	68.65	2745.96	<b>0.00471</b>
	25	0.04150	173480.34	<b>2.4E-07</b>	7	68.65	2745.96	<b>0.00471</b>
	30	0.04980	144566.95	<b>3.4E-07</b>	7	68.65	2745.96	<b>0.00471</b>
	35	0.05810	123914.54	<b>4.7E-07</b>	7	68.65	2745.96	<b>0.00471</b>
	40	0.06641	108425.23	<b>6.1E-07</b>	7	68.65	2745.96	<b>0.00471</b>
	45	0.07471	96377.99	<b>7.8E-07</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
	50	0.08301	86740.20	<b>9.6E-07</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
	55	0.09131	78854.73	<b>1.2E-06</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
	60	0.09961	72283.51	<b>1.4E-06</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
	65	0.10791	66723.25	<b>1.6E-06</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
	70	0.11621	61957.31	<b>1.9E-06</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
	75	0.12451	57826.83	<b>2.2E-06</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
	80	0.13281	54212.66	<b>2.4E-06</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
	85	0.14111	51023.69	<b>2.8E-06</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
H 5	90	0.14941	48189.05	<b>3.1E-06</b>	10	98.07	3922.80	<b>0.00673</b>
	95	0.15771	45652.79	<b>3.5E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	100	0.16601	43370.16	<b>3.8E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	105	0.17431	41304.92	<b>4.2E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	110	0.18261	39427.44	<b>4.6E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	115	0.19092	37713.21	<b>5.1E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	120	0.19922	36141.83	<b>5.5E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	125	0.20752	34696.17	<b>6.0E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	130	0.21582	33361.71	<b>6.5E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	135	0.22412	32126.10	<b>7.0E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	140	0.23242	30978.74	<b>7.5E-06</b>	17	166.72	6668.76	<b>0.01143</b>
	145	0.24072	29910.52	<b>8.0E-06</b>	20	196.14	7845.60	<b>0.01345</b>
	150	0.24902	28913.51	<b>8.6E-06</b>	20	196.14	7845.60	<b>0.01345</b>
	155	0.25732	27980.82	<b>9.2E-06</b>	24	235.37	9414.72	<b>0.01614</b>
	160	0.26562	27106.43	<b>9.8E-06</b>	24	235.37	9414.72	<b>0.01614</b>
	165	0.27392	26285.03	<b>1.0E-05</b>	24	235.37	9414.72	<b>0.01614</b>
	170	0.28222	25511.95	<b>1.1E-05</b>	24	235.37	9414.72	<b>0.01614</b>



	175	0.29052	24783.05	<b>1.2E-05</b>		24	235.37	9414.72	<b>0.01614</b>
	180	0.29882	24094.64	<b>1.2E-05</b>		24	235.37	9414.72	<b>0.01614</b>
	185	0.30712	23443.44	<b>1.3E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01614</b>
	190	0.31542	22826.51	<b>1.4E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01614</b>
	195	0.32373	22241.23	<b>1.5E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01614</b>
	200	0.33203	21685.21	<b>1.5E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01614</b>
	205	0.34033	21156.31	<b>1.6E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01614</b>
	210	0.34863	20652.59	<b>1.7E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01614</b>
	215	0.35693	20172.31	<b>1.8E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01614</b>
	220	0.36523	19713.85	<b>1.9E-05</b>		24	235.368	9414.72	<b>0.01614</b>
	225	0.37353	19275.78	<b>1.9E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
	230	0.38183	18856.75	<b>2.0E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
<b>IV</b>	235	0.39013	18455.55	<b>2.1E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
<b>H 5</b>	240	0.39843	18071.07	<b>2.2E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
	245	0.40673	17702.28	<b>2.3E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
	250	0.41503	17348.24	<b>2.4E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
	255	0.42333	17008.09	<b>2.5E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
	260	0.43163	16681.02	<b>2.6E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
	265	0.43993	16366.29	<b>2.7E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
	270	0.44824	16063.22	<b>2.8E-05</b>		27	264.789	10591.56	<b>0.01816</b>
	275	0.45654	15771.17	<b>2.9E-05</b>		34	333.438	13337.52	<b>0.02287</b>
	280	0.46484	15489.55	<b>3.0E-05</b>		34	333.438	13337.52	<b>0.02287</b>
	285	0.47314	15217.81	<b>3.1E-05</b>		34	333.438	13337.52	<b>0.02287</b>
	290	0.48144	14955.44	<b>3.2E-05</b>		34	333.438	13337.52	<b>0.02287</b>
	295	0.48974	14701.97	<b>3.3E-05</b>		34	333.438	13337.52	<b>0.02287</b>
	300	0.49804	14456.94	<b>3.4E-05</b>		34	333.438	13337.52	<b>0.02287</b>



	5	0.008246753	865810.4372	9.52489E-09		3	29.421	1171.9365	0.001979256
	10	0.016493506	432905.2248	3.80996E-08		3	29.421	1171.9365	0.001979256
	15	0.02474026	288603.4901	8.5724E-08		3	29.421	1171.9365	0.001979256
	20	0.032987013	216452.6248	1.52398E-07		3	29.421	1171.9365	0.001979256
	25	0.041233766	173162.1072	2.38122E-07		3	29.421	1171.9365	0.001979256
	30	0.049480519	144301.7636	3.42896E-07		7	68.649	2734.5185	0.004618265
	35	0.057727273	123687.2336	4.6672E-07		7	68.649	2734.5185	0.004618265
	40	0.065974026	108226.3371	6.09593E-07		7	68.649	2734.5185	0.004618265
	45	0.074220779	96201.19634	7.71516E-07		7	68.649	2734.5185	0.004618265
	50	0.082467532	86581.08454	9.52489E-07		7	68.649	2734.5185	0.004618265
	55	0.090714286	78710.08473	1.15251E-06		7	68.649	2734.5185	0.004618265
	60	0.098961039	72150.9189	1.37158E-06		7	68.649	2734.5185	0.004618265
	65	0.107207792	66600.85615	1.60971E-06		7	68.649	2734.5185	0.004618265
	70	0.115454545	61843.66009	1.86688E-06		10	98.07	3906.455	0.006597522
	75	0.123701299	57720.75739	2.1431E-06		10	98.07	3906.455	0.006597522
	80	0.131948052	54113.21804	2.43837E-06		10	98.07	3906.455	0.006597522
	85	0.140194805	50930.09557	2.75269E-06		10	98.07	3906.455	0.006597522
	90	0.148441558	48100.65384	3.08606E-06		10	98.07	3906.455	0.006597522
IV	95	0.156688312	45569.04851	3.43848E-06		10	98.07	3906.455	0.006597522
H 6	100	0.164935065	43290.60412	3.80995E-06		10	98.07	3906.455	0.006597522
	105	0.173181818	41229.15483	4.20047E-06		10	98.07	3906.455	0.006597522
	110	0.181428571	39355.1104	4.61004E-06		10	98.07	3906.455	0.006597522
	115	0.189675325	37644.02671	5.03866E-06		17	166.719	6640.9735	0.011215787
	120	0.197922078	36075.53367	5.48632E-06		17	166.719	6640.9735	0.011215787
	125	0.206168831	34632.52041	5.95304E-06		17	166.719	6640.9735	0.011215787
	130	0.214415584	33300.50848	6.43881E-06		17	166.719	6640.9735	0.011215787
	135	0.222662338	32067.16441	6.94362E-06		17	166.719	6640.9735	0.011215787
	140	0.230909091	30921.91664	7.46749E-06		17	166.719	6640.9735	0.011215787
	145	0.239155844	29855.65175	8.0104E-06		20	196.14	7812.91	0.013195043
	150	0.247402597	28860.47147	8.57237E-06		20	196.14	7812.91	0.013195043
	155	0.255649351	27929.49663	9.15338E-06		20	196.14	7812.91	0.013195043
	160	0.263896104	27056.70798	9.75344E-06		20	196.14	7812.91	0.013195043
	165	0.272142857	26236.81586	1.03726E-05		24	235.368	9375.492	0.015834052
	170	0.28038961	25465.15293	1.10107E-05		24	235.368	9375.492	0.015834052
	175	0.288636364	24737.58526	1.16679E-05		24	235.368	9375.492	0.015834052
	180	0.296883117	24050.43825	1.23442E-05		24	235.368	9375.492	0.015834052
	185	0.30513	23400.43	<b>1.3E-05</b>		24	235.37	9375.49	<b>0.01583</b>
	190	0.31338	22784.64	<b>1.4E-05</b>		24	235.37	9375.49	<b>0.01583</b>
	195	0.32162	22200.43	<b>1.4E-05</b>		24	235.37	9375.49	<b>0.01583</b>



	200	0.32987	21645.43	<b>1.5E-05</b>		24	235.37	9375.49	<b>0.01583</b>
	205	0.33812	21117.50	<b>1.6E-05</b>		24	235.37	9375.49	<b>0.01583</b>
	210	0.34636	20614.71	<b>1.7E-05</b>		24	235.368	9375.492	<b>0.01583</b>
	215	0.35461	20135.30	<b>1.8E-05</b>		27	264.789	10547.4285	<b>0.01781</b>
	220	0.36286	19677.69	<b>1.8E-05</b>		27	264.789	10547.4285	<b>0.01781</b>
	225	0.37110	19240.42	<b>1.9E-05</b>		27	264.789	10547.4285	<b>0.01781</b>
	230	0.37935	18822.16	<b>2.0E-05</b>		27	264.789	10547.4285	<b>0.01781</b>
<b>IV H 6</b>	235	0.38760	18421.69	<b>2.1E-05</b>		27	264.789	10547.4285	<b>0.01781</b>
	240	0.39584	18037.92	<b>2.2E-05</b>		27	264.789	10547.4285	<b>0.01781</b>
	245	0.40409	17669.80	<b>2.3E-05</b>		27	264.789	10547.4285	<b>0.01781</b>
	250	0.41234	17316.41	<b>2.4E-05</b>		27	264.789	10547.4285	<b>0.01781</b>
	255	0.42058	16976.89	<b>2.5E-05</b>		31	304.017	12110.0105	<b>0.02045</b>
	260	0.42883	16650.42	<b>2.6E-05</b>		31	304.017	12110.0105	<b>0.02045</b>
	265	0.43708	16336.26	<b>2.7E-05</b>		31	304.017	12110.0105	<b>0.02045</b>
	270	0.44532	16033.75	<b>2.8E-05</b>		31	304.017	12110.0105	<b>0.02045</b>
	275	0.45357	15742.23	<b>2.9E-05</b>		31	304.017	12110.0105	<b>0.02045</b>
	280	0.46182	15461.13	<b>3.0E-05</b>		31	304.017	12110.0105	<b>0.02045</b>

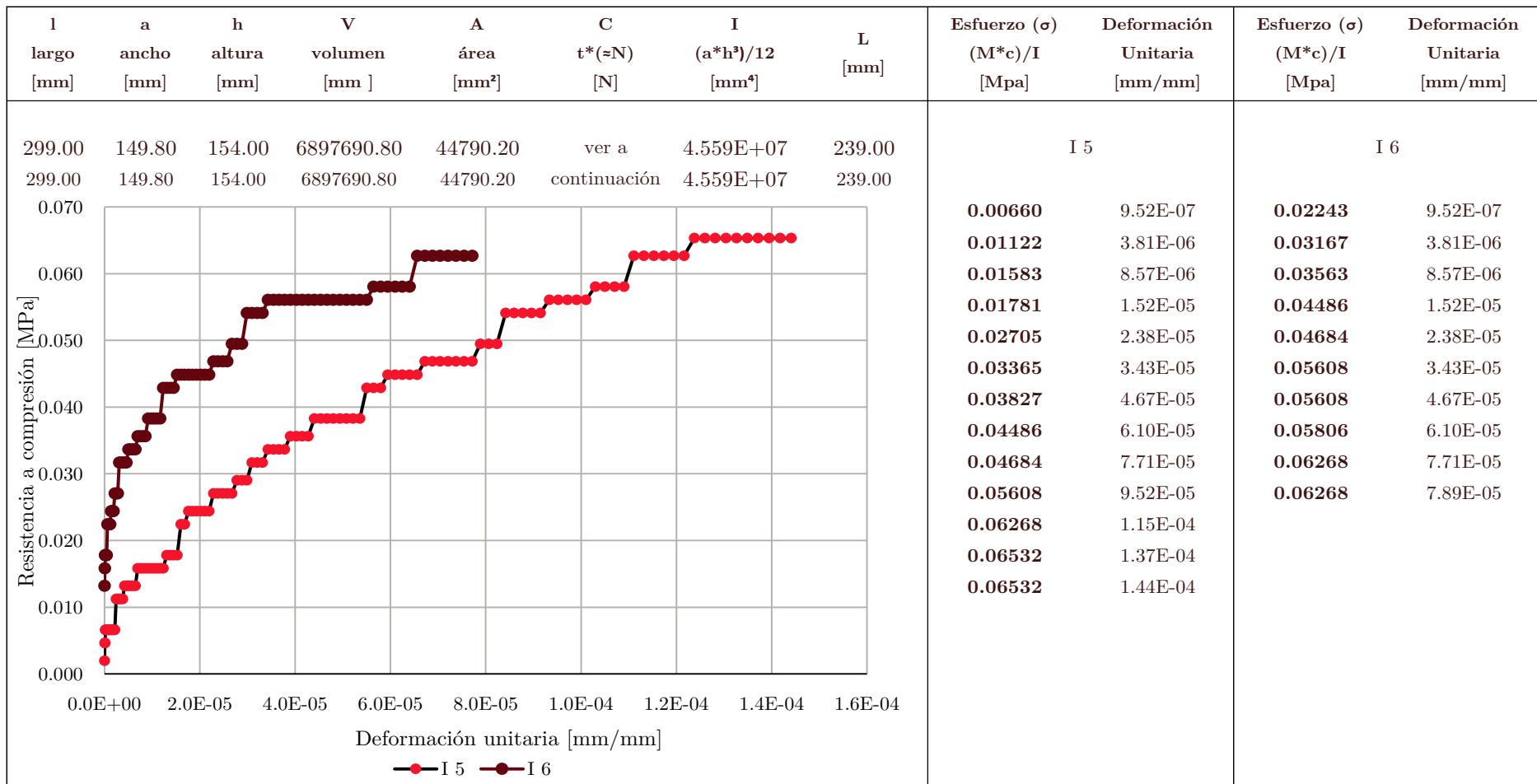
**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio;  $\delta$  = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm], ver la ecuación ( $d_0 =$ ;  $\varepsilon$  = deformación unitaria =  $\delta/r_g$ ;  $r_g$  = radio de giro, ver la ecuación ( $r$ ); t = valor tomado del laboratorio [kg/cm<sup>2</sup>]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$  ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.



## Anexo 12.9

2017-04-22

2017-05-20

**Título:** Resumen de resistencia a la flexión para el modelo especificadoTipo  
Modelo  
**IV  
I**

**Nota:** C = carga en Newtons [N]; t = valor en kg/cm , ver atrás; ≈N = 9.807; I = inercia del polígono, ver la ecuación (i); L = distancia entre apoyos; M = momento, ver fórmula (m);  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación (d2); c = h/2.

Los valores de la tabla fueron extraídos del anexo especificado (deformación c/25 unidades; de los valores registrados en el laboratorio).



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

Mu	D	Deformación $\delta$ [mm/mm]	radio de giro $r_g = \textcircled{R}$	Deformación Unitaria $\epsilon = \delta/r_g$	t	Fuerza ( C ) = $t^*(\approx N)$ [N]	Momento ( M ) = $(C^*L)/6$ [N.mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) $(M^*c)/I$ [Mpa]
	5	0.00825	865810.44	<b>9.52E-09</b>	3	29.421	1171.94	<b>0.00198</b>
	10	0.01649	432905.22	<b>3.81E-08</b>	7	68.649	2734.52	<b>0.00462</b>
	15	0.02474	288603.49	<b>8.57E-08</b>	7	68.649	2734.52	<b>0.00462</b>
	20	0.03299	216452.62	<b>1.52E-07</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	25	0.04123	173162.11	<b>2.38E-07</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	30	0.04948	144301.76	<b>3.43E-07</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	35	0.05773	123687.23	<b>4.67E-07</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	40	0.06597	108226.34	<b>6.10E-07</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	45	0.07422	96201.20	<b>7.72E-07</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	50	0.08247	86581.08	<b>9.52E-07</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	55	0.09071	78710.08	<b>1.15E-06</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	60	0.09896	72150.92	<b>1.37E-06</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	65	0.10721	66600.86	<b>1.61E-06</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	70	0.11545	61843.66	<b>1.87E-06</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	75	0.12370	57720.76	<b>2.14E-06</b>	10	98.070	3906.46	<b>0.00660</b>
	80	0.13195	54113.22	<b>2.44E-06</b>	17	166.719	6640.97	<b>0.01122</b>
<b>IV</b>	85	0.14019	50930.10	<b>2.75E-06</b>	17	166.719	6640.97	<b>0.01122</b>
<b>I 5</b>	90	0.14844	48100.65	<b>3.09E-06</b>	17	166.719	6640.97	<b>0.01122</b>
	95	0.15669	45569.05	<b>3.44E-06</b>	17	166.719	6640.97	<b>0.01122</b>
	100	0.16494	43290.60	<b>3.81E-06</b>	17	166.719	6640.97	<b>0.01122</b>
	105	0.17318	41229.15	<b>4.20E-06</b>	20	196.140	7812.91	<b>0.01320</b>
	110	0.18143	39355.11	<b>4.61E-06</b>	20	196.140	7812.91	<b>0.01320</b>
	115	0.18968	37644.03	<b>5.04E-06</b>	20	196.140	7812.91	<b>0.01320</b>
	120	0.19792	36075.53	<b>5.49E-06</b>	20	196.140	7812.91	<b>0.01320</b>
	125	0.20617	34632.52	<b>5.95E-06</b>	20	196.140	7812.91	<b>0.01320</b>
	130	0.21442	33300.51	<b>6.44E-06</b>	20	196.140	7812.91	<b>0.01320</b>
	135	0.22266	32067.16	<b>6.94E-06</b>	24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	140	0.23091	30921.92	<b>7.47E-06</b>	24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	145	0.23916	29855.65	<b>8.01E-06</b>	24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	150	0.24740	28860.47	<b>8.57E-06</b>	24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	155	0.25565	27929.50	<b>9.15E-06</b>	24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	160	0.26390	27056.71	<b>9.75E-06</b>	24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	165	0.27214	26236.82	<b>1.04E-05</b>	24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	170	0.28039	25465.15	<b>1.10E-05</b>	24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>



	175	0.28864	24737.59	<b>1.17E-05</b>		24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	180	0.29688	24050.44	<b>1.23E-05</b>		24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	185	0.30513	23400.43	<b>1.30E-05</b>		27	264.789	10547.43	<b>0.01781</b>
	190	0.31338	22784.64	<b>1.38E-05</b>		27	264.789	10547.43	<b>0.01781</b>
	195	0.32162	22200.43	<b>1.45E-05</b>		27	264.789	10547.43	<b>0.01781</b>
	200	0.32987	21645.43	<b>1.52E-05</b>		27	264.789	10547.43	<b>0.01781</b>
	205	0.33812	21117.50	<b>1.60E-05</b>		34	333.438	13281.95	<b>0.02243</b>
	210	0.34636	20614.71	<b>1.68E-05</b>		34	333.438	13281.95	<b>0.02243</b>
	215	0.35461	20135.30	<b>1.76E-05</b>		37	362.859	14453.88	<b>0.02441</b>
	220	0.36286	19677.69	<b>1.84E-05</b>		37	362.859	14453.88	<b>0.02441</b>
	225	0.37110	19240.42	<b>1.93E-05</b>		37	362.859	14453.88	<b>0.02441</b>
	230	0.37935	18822.16	<b>2.02E-05</b>		37	362.859	14453.88	<b>0.02441</b>
	235	0.38760	18421.69	<b>2.10E-05</b>		37	362.859	14453.88	<b>0.02441</b>
	240	0.39584	18037.92	<b>2.19E-05</b>		37	362.859	14453.88	<b>0.02441</b>
	245	0.40409	17669.80	<b>2.29E-05</b>		41	402.087	16016.47	<b>0.02705</b>
	250	0.41234	17316.41	<b>2.38E-05</b>		41	402.087	16016.47	<b>0.02705</b>
	255	0.42058	16976.89	<b>2.48E-05</b>		41	402.087	16016.47	<b>0.02705</b>
	260	0.42883	16650.42	<b>2.58E-05</b>		41	402.087	16016.47	<b>0.02705</b>
<b>IV</b>	265	0.43708	16336.26	<b>2.68E-05</b>		41	402.087	16016.47	<b>0.02705</b>
<b>I 5</b>	270	0.44532	16033.75	<b>2.78E-05</b>		44	431.508	17188.40	<b>0.02903</b>
	275	0.45357	15742.23	<b>2.88E-05</b>		44	431.508	17188.40	<b>0.02903</b>
	280	0.46182	15461.13	<b>2.99E-05</b>		44	431.508	17188.40	<b>0.02903</b>
	285	0.47006	15189.89	<b>3.09E-05</b>		48	470.736	18750.98	<b>0.03167</b>
	290	0.47831	14928.01	<b>3.20E-05</b>		48	470.736	18750.98	<b>0.03167</b>
	295	0.48656	14675.00	<b>3.32E-05</b>		48	470.736	18750.98	<b>0.03167</b>
	300	0.49481	14430.42	<b>3.43E-05</b>		51	500.157	19922.92	<b>0.03365</b>
	305	0.50305	14193.87	<b>3.54E-05</b>		51	500.157	19922.92	<b>0.03365</b>
	310	0.51130	13964.94	<b>3.66E-05</b>		51	500.157	19922.92	<b>0.03365</b>
	315	0.51955	13743.28	<b>3.78E-05</b>		51	500.157	19922.92	<b>0.03365</b>
	320	0.52779	13528.55	<b>3.90E-05</b>		54	529.578	21094.86	<b>0.03563</b>
	325	0.53604	13320.43	<b>4.02E-05</b>		54	529.578	21094.86	<b>0.03563</b>
	330	0.54429	13118.61	<b>4.15E-05</b>		54	529.578	21094.86	<b>0.03563</b>
	335	0.55253	12922.82	<b>4.28E-05</b>		54	529.578	21094.86	<b>0.03563</b>
	340	0.56078	12732.79	<b>4.40E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
	345	0.56903	12548.26	<b>4.53E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
	350	0.57727	12369.01	<b>4.67E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
	355	0.58552	12194.81	<b>4.80E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
	360	0.59377	12025.44	<b>4.94E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
	365	0.60201	11860.72	<b>5.08E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>



370	0.61026	11700.45	<b>5.22E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
375	0.61851	11544.45	<b>5.36E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
380	0.62675	11392.56	<b>5.50E-05</b>		65	637.455	25391.96	<b>0.04288</b>
385	0.63500	11244.61	<b>5.65E-05</b>		65	637.455	25391.96	<b>0.04288</b>
390	0.64325	11100.46	<b>5.79E-05</b>		65	637.455	25391.96	<b>0.04288</b>
395	0.65149	10959.95	<b>5.94E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
400	0.65974	10822.96	<b>6.10E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
405	0.66799	10689.35	<b>6.25E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
410	0.67623	10559.00	<b>6.40E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
415	0.68448	10431.79	<b>6.56E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
420	0.69273	10307.61	<b>6.72E-05</b>		71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
425	0.70097	10186.36	<b>6.88E-05</b>		71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
430	0.70922	10067.92	<b>7.04E-05</b>		71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
435	0.71747	9952.20	<b>7.21E-05</b>		71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
440	0.72571	9839.12	<b>7.38E-05</b>		71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
445	0.73396	9728.57	<b>7.54E-05</b>		71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
450	0.74221	9620.49	<b>7.71E-05</b>		71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
455	0.75045	9514.78	<b>7.89E-05</b>		75	735.525	29298.41	<b>0.04948</b>
IV	460	0.75870	9411.36	<b>8.06E-05</b>	75	735.525	29298.41	<b>0.04948</b>
I 5	465	0.76695	9310.17	<b>8.24E-05</b>	75	735.525	29298.41	<b>0.04948</b>
	470	0.77519	9211.14	<b>8.42E-05</b>	82	804.174	32032.93	<b>0.05410</b>
	475	0.78344	9114.19	<b>8.60E-05</b>	82	804.174	32032.93	<b>0.05410</b>
	480	0.79169	9019.25	<b>8.78E-05</b>	82	804.174	32032.93	<b>0.05410</b>
	485	0.79994	8926.28	<b>8.96E-05</b>	82	804.174	32032.93	<b>0.05410</b>
	490	0.80818	8835.20	<b>9.15E-05</b>	82	804.174	32032.93	<b>0.05410</b>
	495	0.81643	8745.97	<b>9.33E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	500	0.82468	8658.52	<b>9.52E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	505	0.83292	8572.80	<b>9.72E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	510	0.84117	8488.76	<b>9.91E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	515	0.84942	8406.35	<b>1.01E-04</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	520	0.85766	8325.53	<b>1.03E-04</b>	88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
	525	0.86591	8246.25	<b>1.05E-04</b>	88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
	530	0.87416	8168.46	<b>1.07E-04</b>	88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
	535	0.88240	8092.13	<b>1.09E-04</b>	88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
	540	0.89065	8017.21	<b>1.11E-04</b>	95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	545	0.89890	7943.66	<b>1.13E-04</b>	95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	550	0.90714	7871.46	<b>1.15E-04</b>	95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	555	0.91539	7800.55	<b>1.17E-04</b>	95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	560	0.92364	7730.91	<b>1.19E-04</b>	95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>



	565	0.93188	7662.51	<b>1.22E-04</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	570	0.94013	7595.30	<b>1.24E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
	575	0.94838	7529.26	<b>1.26E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
	580	0.95662	7464.36	<b>1.28E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
<b>IV</b>	585	0.96487	7400.57	<b>1.30E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
<b>I 5</b>	590	0.97312	7337.86	<b>1.33E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
	595	0.98136	7276.21	<b>1.35E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
	600	0.98961	7215.58	<b>1.37E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
	605	0.99786	7155.96	<b>1.39E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
	610	1.00610	7097.31	<b>1.42E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
	615	1.01435	7039.62	<b>1.44E-04</b>		99	970.893	38673.90	<b>0.06532</b>
	5	0.00825	865810.44	<b>9.52E-09</b>		20	196.140	7812.91	<b>0.01320</b>
	10	0.01649	432905.22	<b>3.81E-08</b>		24	235.368	9375.49	<b>0.01583</b>
	15	0.02474	288603.49	<b>8.57E-08</b>		27	264.789	10547.43	<b>0.01781</b>
	20	0.03299	216452.62	<b>1.52E-07</b>		27	264.789	10547.43	<b>0.01781</b>
	25	0.04123	173162.11	<b>2.38E-07</b>		27	264.789	10547.43	<b>0.01781</b>
	30	0.04948	144301.76	<b>3.43E-07</b>		27	264.789	10547.43	<b>0.01781</b>
	35	0.05773	123687.23	<b>4.67E-07</b>		27	264.789	10547.43	<b>0.01781</b>
	40	0.06597	108226.34	<b>6.10E-07</b>		34	333.438	13281.95	<b>0.02243</b>
	45	0.07422	96201.20	<b>7.72E-07</b>		34	333.438	13281.95	<b>0.02243</b>
	50	0.08247	86581.08	<b>9.52E-07</b>		34	333.438	13281.95	<b>0.02243</b>
	55	0.09071	78710.08	<b>1.15E-06</b>		34	333.438	13281.95	<b>0.02243</b>
	60	0.09896	72150.92	<b>1.37E-06</b>		37	362.859	14453.88	<b>0.02441</b>
<b>IV</b>	65	0.10721	66600.86	<b>1.61E-06</b>		37	362.859	14453.88	<b>0.02441</b>
<b>I 6</b>	70	0.11545	61843.66	<b>1.87E-06</b>		37	362.859	14453.88	<b>0.02441</b>
	75	0.12370	57720.76	<b>2.14E-06</b>		41	402.087	16016.47	<b>0.02705</b>
	80	0.13195	54113.22	<b>2.44E-06</b>		41	402.087	16016.47	<b>0.02705</b>
	85	0.14019	50930.10	<b>2.75E-06</b>		41	402.087	16016.47	<b>0.02705</b>
	90	0.14844	48100.65	<b>3.09E-06</b>		48	470.736	18750.98	<b>0.03167</b>
	95	0.15669	45569.05	<b>3.44E-06</b>		48	470.736	18750.98	<b>0.03167</b>
	100	0.16494	43290.60	<b>3.81E-06</b>		48	470.736	18750.98	<b>0.03167</b>
	105	0.17318	41229.15	<b>4.20E-06</b>		48	470.736	18750.98	<b>0.03167</b>
	110	0.18143	39355.11	<b>4.61E-06</b>		48	470.736	18750.98	<b>0.03167</b>
	115	0.18968	37644.03	<b>5.04E-06</b>		51	500.157	19922.92	<b>0.03365</b>
	120	0.19792	36075.53	<b>5.49E-06</b>		51	500.157	19922.92	<b>0.03365</b>
	125	0.20617	34632.52	<b>5.95E-06</b>		51	500.157	19922.92	<b>0.03365</b>
	130	0.21442	33300.51	<b>6.44E-06</b>		51	500.157	19922.92	<b>0.03365</b>
	135	0.22266	32067.16	<b>6.94E-06</b>		54	529.578	21094.86	<b>0.03563</b>



140	0.23091	30921.92	<b>7.47E-06</b>		54	529.578	21094.86	<b>0.03563</b>
145	0.23916	29855.65	<b>8.01E-06</b>		54	529.578	21094.86	<b>0.03563</b>
150	0.24740	28860.47	<b>8.57E-06</b>		54	529.578	21094.86	<b>0.03563</b>
155	0.25565	27929.50	<b>9.15E-06</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
160	0.26390	27056.71	<b>9.75E-06</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
165	0.27214	26236.82	<b>1.04E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
170	0.28039	25465.15	<b>1.10E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
175	0.28864	24737.59	<b>1.17E-05</b>		58	568.806	22657.44	<b>0.03827</b>
180	0.29688	24050.44	<b>1.23E-05</b>		65	637.455	25391.96	<b>0.04288</b>
185	0.30513	23400.43	<b>1.30E-05</b>		65	637.455	25391.96	<b>0.04288</b>
190	0.31338	22784.64	<b>1.38E-05</b>		65	637.455	25391.96	<b>0.04288</b>
195	0.32162	22200.43	<b>1.45E-05</b>		65	637.455	25391.96	<b>0.04288</b>
200	0.32987	21645.43	<b>1.52E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
205	0.33812	21117.50	<b>1.60E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
210	0.34636	20614.71	<b>1.68E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
215	0.35461	20135.30	<b>1.76E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
220	0.36286	19677.69	<b>1.84E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
225	0.37110	19240.42	<b>1.93E-05</b>		68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
IV	230	0.37935	18822.16	<b>2.02E-05</b>	68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
I 6	235	0.38760	18421.69	<b>2.10E-05</b>	68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
	240	0.39584	18037.92	<b>2.19E-05</b>	68	666.876	26563.89	<b>0.04486</b>
	245	0.40409	17669.80	<b>2.29E-05</b>	71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
	250	0.41234	17316.41	<b>2.38E-05</b>	71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
	255	0.42058	16976.89	<b>2.48E-05</b>	71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
	260	0.42883	16650.42	<b>2.58E-05</b>	71	696.297	27735.83	<b>0.04684</b>
	265	0.43708	16336.26	<b>2.68E-05</b>	75	735.525	29298.41	<b>0.04948</b>
	270	0.44532	16033.75	<b>2.78E-05</b>	75	735.525	29298.41	<b>0.04948</b>
	275	0.45357	15742.23	<b>2.88E-05</b>	75	735.525	29298.41	<b>0.04948</b>
	280	0.46182	15461.13	<b>2.99E-05</b>	82	804.174	32032.93	<b>0.05410</b>
	285	0.47006	15189.89	<b>3.09E-05</b>	82	804.174	32032.93	<b>0.05410</b>
	290	0.47831	14928.01	<b>3.20E-05</b>	82	804.174	32032.93	<b>0.05410</b>
	295	0.48656	14675.00	<b>3.32E-05</b>	82	804.174	32032.93	<b>0.05410</b>
	300	0.49481	14430.42	<b>3.43E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	305	0.50305	14193.87	<b>3.54E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	310	0.51130	13964.94	<b>3.66E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	315	0.51955	13743.28	<b>3.78E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	320	0.52779	13528.55	<b>3.90E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	325	0.53604	13320.43	<b>4.02E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	330	0.54429	13118.61	<b>4.15E-05</b>	85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>



	335	0.55253	12922.82	<b>4.28E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	340	0.56078	12732.79	<b>4.40E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	345	0.56903	12548.26	<b>4.53E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	350	0.57727	12369.01	<b>4.67E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	355	0.58552	12194.81	<b>4.80E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	360	0.59377	12025.44	<b>4.94E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	365	0.60201	11860.72	<b>5.08E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	370	0.61026	11700.45	<b>5.22E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	375	0.61851	11544.45	<b>5.36E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	380	0.62675	11392.56	<b>5.50E-05</b>		85	833.595	33204.87	<b>0.05608</b>
	385	0.63500	11244.61	<b>5.65E-05</b>		88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
<b>IV</b>	390	0.64325	11100.46	<b>5.79E-05</b>		88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
<b>I 6</b>	395	0.65149	10959.95	<b>5.94E-05</b>		88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
	400	0.65974	10822.96	<b>6.10E-05</b>		88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
	405	0.66799	10689.35	<b>6.25E-05</b>		88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
	410	0.67623	10559.00	<b>6.40E-05</b>		88	863.016	34376.80	<b>0.05806</b>
	415	0.68448	10431.79	<b>6.56E-05</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	420	0.69273	10307.61	<b>6.72E-05</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	425	0.70097	10186.36	<b>6.88E-05</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	430	0.70922	10067.92	<b>7.04E-05</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	435	0.71747	9952.20	<b>7.21E-05</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	440	0.72571	9839.12	<b>7.38E-05</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	445	0.73396	9728.57	<b>7.54E-05</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	450	0.74221	9620.49	<b>7.71E-05</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>
	455	0.75045	9514.78	<b>7.89E-05</b>		95	931.665	37111.32	<b>0.06268</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio;  $\delta$  = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm], ver la ecuación ( $d_0 =$ ;  $\varepsilon =$  deformación unitaria =  $\delta/r^q$ ;  $r^q$  = radio de giro, ver la ecuación ( $r$ );  $t$  = valor tomado del laboratorio [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación ( $m$ );  $\sigma$  = mirar resultado de la ecuación ( $d_2$ );  $c = h/2$ .



**Título:** Resumen y cálculos de los valores para resistencia a la flexión del modelo especificado

Mu	D	Deformación $\delta$ [mm/mm]	radio de giro $r_g = \frac{I}{\delta}$	Deformación Unitaria $\epsilon = \frac{\delta}{r_g}$	t	Fuerza ( C ) = $t^*(\approx N)$ [N]	Momento ( M ) = $(C*L)/6$ [N.mm]	Esfuerzo ( $\sigma$ ) (M*c)/I [Mpa]
	5	0.00873	797614.96	<b>1.09E-08</b>	93	912.051	35874.01	<b>0.06815</b>
	10	0.01746	398807.49	<b>4.38E-08</b>	97	951.279	37416.97	<b>0.07108</b>
	15	0.02619	265871.67	<b>9.85E-08</b>	97	951.279	37416.97	<b>0.07108</b>
	20	0.03491	199403.76	<b>1.75E-07</b>	98	961.086	37802.72	<b>0.07181</b>
	25	0.04364	159523.01	<b>2.74E-07</b>	98	961.086	37802.72	<b>0.07181</b>
	30	0.05237	132935.85	<b>3.94E-07</b>	98	961.086	37802.72	<b>0.07181</b>
	35	0.06110	113945.02	<b>5.36E-07</b>	99	970.893	38188.46	<b>0.07254</b>
	40	0.06983	99701.90	<b>7.00E-07</b>	99	970.893	38188.46	<b>0.07254</b>
	45	0.07856	88623.92	<b>8.86E-07</b>	102	1000.314	39345.68	<b>0.07474</b>
	50	0.08729	79761.54	<b>1.09E-06</b>	107	1049.349	41274.39	<b>0.07840</b>
	55	0.09601	72510.50	<b>1.32E-06</b>	113	1108.191	43588.85	<b>0.08280</b>
	60	0.10474	66467.97	<b>1.58E-06</b>	118	1157.226	45517.56	<b>0.08646</b>
	65	0.11347	61355.05	<b>1.85E-06</b>	118	1157.226	45517.56	<b>0.08646</b>
	70	0.12220	56972.56	<b>2.14E-06</b>	120	1176.840	46289.04	<b>0.08793</b>
	75	0.13093	53174.40	<b>2.46E-06</b>	120	1176.840	46289.04	<b>0.08793</b>
<b>IV</b>	80	0.13966	49851.00	<b>2.80E-06</b>	120	1176.840	46289.04	<b>0.08793</b>
<b>J 5</b>	85	0.14838	46918.60	<b>3.16E-06</b>	124	1216.068	47832.01	<b>0.09086</b>
	90	0.15711	44312.02	<b>3.55E-06</b>	125	1225.875	48217.75	<b>0.09159</b>
	95	0.16584	41979.82	<b>3.95E-06</b>	125	1225.875	48217.75	<b>0.09159</b>
	100	0.17457	39880.84	<b>4.38E-06</b>	128	1255.296	49374.98	<b>0.09379</b>
	105	0.18330	37981.76	<b>4.83E-06</b>	131	1284.717	50532.20	<b>0.09599</b>
	110	0.19203	36255.32	<b>5.30E-06</b>	136	1333.752	52460.91	<b>0.09965</b>
	115	0.20076	34679.01	<b>5.79E-06</b>	142	1392.594	54775.36	<b>0.10405</b>
	120	0.20948	33234.06	<b>6.30E-06</b>	149	1461.243	57475.56	<b>0.10918</b>
	125	0.21821	31904.71	<b>6.84E-06</b>	151	1480.857	58247.04	<b>0.11064</b>
	130	0.22694	30677.61	<b>7.40E-06</b>	153	1500.471	59018.53	<b>0.11211</b>
	135	0.23567	29541.41	<b>7.98E-06</b>	161	1578.927	62104.46	<b>0.11797</b>
	140	0.24440	28486.37	<b>8.58E-06</b>	166	1627.962	64033.17	<b>0.12164</b>
	145	0.25313	27504.09	<b>9.20E-06</b>	174	1706.418	67119.11	<b>0.12750</b>
	150	0.26186	26587.30	<b>9.85E-06</b>	178	1745.646	68662.08	<b>0.13043</b>
	155	0.27058	25729.65	<b>1.05E-05</b>	181	1775.067	69819.30	<b>0.13263</b>
	160	0.27931	24925.61	<b>1.12E-05</b>	185	1814.295	71362.27	<b>0.13556</b>



	5	0.00852	830704.33	<b>1.03E-08</b>		97	951.279	37734.07	<b>0.06858</b>
	10	0.01705	415352.17	<b>4.10E-08</b>		99	970.893	38512.09	<b>0.06999</b>
	15	0.025570	276901.456	<b>9.23E-08</b>		102	1000.314	39679.122	<b>0.07212</b>
	20	0.034094	207676.100	<b>1.64E-07</b>		102	1000.314	39679.122	<b>0.07212</b>
	25	0.042617	166140.887	<b>2.57E-07</b>		104	1019.928	40457.144	<b>0.07353</b>
	30	0.051141	138450.747	<b>3.69E-07</b>		105	1029.735	40846.155	<b>0.07424</b>
	35	0.059664	118672.077	<b>5.03E-07</b>		107	1049.349	41624.177	<b>0.07565</b>
	40	0.068188	103838.075	<b>6.57E-07</b>		108	1059.156	42013.188	<b>0.07636</b>
	45	0.076711	92300.520	<b>8.31E-07</b>		110	1078.770	42791.210	<b>0.07777</b>
	50	0.085235	83070.476	<b>1.03E-06</b>		112	1098.384	43569.232	<b>0.07919</b>
	55	0.093758	75518.622	<b>1.24E-06</b>		112	1098.384	43569.232	<b>0.07919</b>
	60	0.102282	69225.412	<b>1.48E-06</b>		113	1108.191	43958.243	<b>0.07989</b>
	65	0.110805	63900.389	<b>1.73E-06</b>		113	1108.191	43958.243	<b>0.07989</b>
	70	0.119329	59336.083	<b>2.01E-06</b>		115	1127.805	44736.265	<b>0.08131</b>
	75	0.127852	55380.353	<b>2.31E-06</b>		118	1157.226	45903.298	<b>0.08343</b>
<b>IV</b>	80	0.136376	51919.089	<b>2.63E-06</b>		121	1186.647	47070.331	<b>0.08555</b>
<b>J 6</b>	85	0.144899	48865.033	<b>2.97E-06</b>		123	1206.261	47848.353	<b>0.08696</b>
	90	0.153423	46150.317	<b>3.32E-06</b>		128	1255.296	49793.408	<b>0.09050</b>
	95	0.161946	43721.362	<b>3.70E-06</b>		131	1284.717	50960.441	<b>0.09262</b>
	100	0.170470	41535.302	<b>4.10E-06</b>		136	1333.752	52905.496	<b>0.09615</b>
	105	0.178993	39557.439	<b>4.52E-06</b>		139	1363.173	54072.529	<b>0.09828</b>
	110	0.187517	37759.382	<b>4.97E-06</b>		143	1402.401	55628.573	<b>0.10110</b>
	115	0.196040	36117.678	<b>5.43E-06</b>		146	1431.822	56795.606	<b>0.10322</b>
	120	0.204564	34612.783	<b>5.91E-06</b>		151	1480.857	58740.661	<b>0.10676</b>
	125	0.213087	33228.280	<b>6.41E-06</b>		154	1510.278	59907.694	<b>0.10888</b>
	130	0.221611	31950.277	<b>6.94E-06</b>		159	1559.313	61852.749	<b>0.11242</b>
	135	0.230134	30766.942	<b>7.48E-06</b>		163	1598.541	63408.793	<b>0.11524</b>
	140	0.238658	29668.131	<b>8.04E-06</b>		168	1647.576	65353.848	<b>0.11878</b>
	145	0.247181	28645.101	<b>8.63E-06</b>		173	1696.611	67298.903	<b>0.12231</b>
	150	0.255705	27690.272	<b>9.23E-06</b>		177	1735.839	68854.947	<b>0.12514</b>
	155	0.264228	26797.046	<b>9.86E-06</b>		180	1765.260	70021.980	<b>0.12726</b>
	160	0.272752	25959.647	<b>1.05E-05</b>		185	1814.295	71967.035	<b>0.13080</b>
	165	0.281275	25172.999	<b>1.12E-05</b>		186	1824.102	72356.046	<b>0.13151</b>

**Nota:** Mu = muestra; D = deformación en pulgadas de los valores tomados del laboratorio; δ = deformación en el centro de la cara inferior de la muestra [mm], ver la ecuación ( $d_0 = \delta / r^g$ ); ε = deformación unitaria =  $\delta / r^g$ ;  $r^g$  = radio de giro, ver la ecuación ( $r$ ); t = valor tomado del laboratorio [ $\text{kg/cm}^2$ ]; C = carga en Newtons [N];  $\approx N = 9.807$ ; L = distancia entre apoyos; M = momento, ver la ecuación ( $m$ ); σ = mirar resultado de la ecuación ( $d_2$ ); c =  $h/2$ .

