

# UCUENCA

**Universidad de Cuenca**

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

**Paneles de tierra comprimidos**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Arquitecto

**Autores:**

Kevin Alex Narváez Berrezueta,  
Juan Pablo Parra Vargas.

**Director:**

Xavier Ricardo Cárdenas Haro  
ORCID: 0000-0001-5063-7366

**Cuenca, Ecuador**

2023-04-04



Universidad de Cuenca  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Trabajo previo a la obtención de título de Arquitecto.

Cuenca, Ecuador  
2023-04-04

Kevin Alex Narváez Berrezueta  
Juan Pablo Parra Vargas  
Director: Ing. Xavier Ricardo Cárdenas Haro

**Resumen**

La construcción cambia por causa del contexto y la temporalidad en la que se encuentra; a pesar de ello, respeta fundamentos básicos de diseño. Por lo cual, la reinterpretación de sistemas constructivos es un punto de partida para proponer soluciones a problemas contemporáneos. Por ejemplo, el Sistema Sandino desarrollado en Cuba planteó viviendas prefabricadas ligeras de bajo costo; que hace uso de pilares y paneles de cierre en hormigón, basados en módulos estructurales de alrededor de 1 metro. Farfán y López (2023) adaptan este sistema al contexto ecuatoriano al mantener el método de construcción, prefabricación y crecimiento; a su vez plantean el cambio de material primario (hormigón) por otros de menor costo ambiental. Por esta razón, esta investigación se centra en la propuesta de tres opciones de paneles de cierre tipo BTC (Bloque de tierra comprimido) que se adapte al Sistema Sandino propuesto por Farfán y López (2023), respetando el módulo planteado de 30x90x6 cm. Sin embargo, las normativas existentes de BTC solo consideran dimensiones similares a las de un ladrillo convencional (200x100x50 mm). Razón por la cual, los aditivos en conjunto con la presión son las variables iniciales de experimentación para estabilizar los paneles de BTC. Posteriormente, se analizan los costos de los paneles propuestos, que conjuntamente con el sistema, son una opción rentable frente a otros tipos de vivienda económica. Para finalizar, se propone como guía metodológica de análisis, un catálogo de BTC que potencie la construcción en tierra.

*Palabras clave:* sistema Sandino, panel BTC, catálogo, construcción en tierra

**Abstract**

Construction changes due to context and temporality in which it is found; nevertheless, it respects basic design fundamentals. Therefore, the reinterpretation of constructive systems is a starting point to propose solutions to contemporary problems. For example, the Sandino System developed in Cuba proposed low-cost light prefabricated housing; which makes use of concrete pillars and closure panels, based on structural modules of about 1 meter. Farfán and López (2023) adapt this system to the Ecuadorian context by maintaining the construction method, prefabrication and growth; at the same time they propose the change of primary material (concrete) for others of lower environmental cost. For this reason, this research focuses on the proposal of three options of BTC (Compressed Earth Block) closure panels that adapt to the Sandino System proposed by Farfán and López (2023), respecting the proposed module of 30x90x6 cm. However, existing BTC regulations only consider dimensions similar to those of a conventional brick (200x100x50 mm). Therefore, additives together with pressure are the initial variables of experimentation to stabilize the BTC panels. Subsequently, the costs of the proposed panels are analyzed, which together with the system, are a profitable option compared to other types of economic housing. Finally, a BTC catalog is proposed as a methodological analysis guide to enhance earth construction.

*Keywords:* Sandino system, BTC panel, catalog, earth construction

**Capítulo 1. Marco Teórico.**

1.1. Introducción.

1.2. Generalidades del suelo.

1.2.1 Granulometría.

1.2.2 Minerales y arcillas.

1.2.2.1 Capacidad de intercambio catiónico.

1.2.2.2 Superficie específica.

1.2.2.3 Límites de Consistencia.

1.2.2.4 Estabilidad de las arcillas.

1.2.3 Densidad.

1.2.3.1 Porosidad.

1.2.4 Color del suelo.

1.2.5 Estructura.

1.2.6 Permeabilidad.

1.2.7 Ph.

1.3 Conclusiones.

**Capítulo 2. Marco Teórico.**

2.1. Introducción.

2.1.1. La tierra como material de construcción.

2.1.2. Propiedades de la tierra para la construcción.

2.1.3. Pruebas empíricas para el uso de tierra para la construcción.

2.1.4 Ensayos de laboratorio para identificación de propiedades de la tierra.

2.1.5. Normativas para construcción en tierra.

2.2. Técnicas vernáculas de construcción en tierra.

2.2.1. Tapial.

2.2.2. Bahareque.

2.2.3. Adobe.

2.3. Avance de técnicas vernáculas de construcción en tierra.

2.3.1. Tapial.

2.3.2. Quincha.

2.3.3. Adobe.

2.3.4. BTC.

2.4. Sistema Sandino y su adaptación a Ecuador.

2.5. Conclusiones

**Capítulo 3. Caracterización física y mecánica del material.**

3.1. Introducción.

3.2. Normativas de construcción en BTC.

## UCUENCA

006

3.3. Estabilizantes y aditivos para BTC.

075

3.4. Selección y caracterización de la tierra.

076

3.4.1 Pruebas empíricas.

078

3.4.2 Ensayo de laboratorio

080

3.5. Creación de panel BTC.

085

3.5.1 Secado y cernido del material.

085

3.5.2 Dosificación y prensado del material.

086

3.5.3 Curado y secado de los paneles BTC.

087

3.6. Caracterización mecánica del panel BTC.

089

3.7. Análisis de rotura del panel BTC.

092

3.8. Conclusiones

093

### 4. Capítulo 4. Producción y costos.

095

4.1. Introducción.

096

4.2 Construcción de maquinaria.

097

4.2.1. Construcción de prensa hidráulica.

097

4.2.2. Construcción de cilindro cernidor.

098

4.3. Costos

100

4.3.1. Costo de construcción de prensa, cofre y cilindro cernidor.

100

4.3.2. Costo de producción por panel en sistema sandino y comparativa con otros sistemas.

100

4.3.3. Vivienda contemporánea

119

## UCUENCA

007

4.4. Conclusiones

123

### 5. Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

125

5.1. Conclusiones generales

126

5.2. Recomendaciones

129

5.3. Futuras líneas de investigación

130

### Referencias

131

### Anexos

168

Anexo A (Catálogo).

169

Anexo B (Aditivos).

201

Anexo C (Laboratorio).

221

- **Figura 001** Composición del suelo.
- **Figura 002** Triángulo textural de USDA
- **Figura 003** Esquema de la disposición espacial de los cationes y aniones
- **Figura 004** Oxígenos compartidos
- **Figura 005** Óxidos cationes.
- **Figura 006** Disposición de los tetraedros.
- **Figura 007** Esquema de disposición.
- **Figura 008** Disposición espacial de los tetraedros.
- **Figura 009** Disposición de las cadenas de tetraedros.
- **Figura 010** Disposición espacial de las cadenas dobles.
- **Figura 011** Disposición de los tetraedros en la lámina de siloxano.
- **Figura 012** Octaedro y esquema en planta.
- **Figura 013** Capas octaédricas.
- **Figura 014** Estructura TO 1:1.
- **Figura 015** Estructura TO 2:1.
- **Figura 016** Estructura TO 2:1:1.
- **Figura 017** Disposición espacial.
- **Figura 018** Estados de consistencia de los suelos.
- **Figura 019** Respuesta de los silicatos a tratamientos diferenciadores (separaciones en nm).

031

032

032

032

033

033

033

033

034

034

034

034

034

034

034

035

035

037

038

- **Figura 020** Fotografía de Almacenes, Templo de Ramses II, Egipto, 1300 a.C.
- **Figura 021** Tierra de distintos lugares para la investigación, Cuenca y Pucará.
- **Figura 022** Gran Mezquita de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- **Figura 023** Shibam Wadi Hadhramaut Yemen.
- **Figura 024** Tulou, China.
- **Figura 025** Curva granulométrica.
- **Figura 026** Rueda de técnicas constructivas en tierra.
- **Figura 027** Centro de hilado de Morochos.
- **Figura 028** Casa de Tapial en Paute.
- **Figura 029** Herramientas para tapial.
- **Figura 030** Vivienda antigua de los Saraguros.
- **Figura 031** Casa rural hecha con manufactura nueva, Zulia.
- **Figura 032** Técnica de bahareque de galluchaqui
- **Figura 033** Vivienda de adobe.
- **Figura 034** Tipos de adoberas.
- **Figura 035** Muros de tapial en la Biblioteca Sublette County.
- **Figura 036** Fotografía “Back 40” House, USA.
- **Figura 037** Diagrama muro de tapial post-tensado.
- **Figura 038** Prototipo para una vivienda de bajo costo con muros de tapial reforzado con bambú 1978, Guatemala.

044

044

045

045

045

046

050

051

051

052

053

053

054

054

055

056

056

057

058

## UCUENCA

- **Figura 039** Prototipo para una vivienda de bajo costo con muros de tapial reforzado con bambú 1978, Guatemala.
- **Figura 040** Piscina Municipal de Toro / Vier Arquitectos
- **Figura 041** Casa Rauch.
- **Figura 042** Escalera de Casa Rauch.
- **Figura 043** Fotografía de Jardín de infancia Baya, Sudáfrica.
- **Figura 044** Apisonamiento mecánico de tapial.
- **Figura 045** Prefabricación en el edificio Ricola Kräuterzentrum (Herb Center).
- **Figura 046** Fotografía de Imprenta Gugler.
- **Figura 047** Edificio Ricola Kräuterzentrum (Herb Center).
- **Figura 048** Casa Munita Gonzalez / Arias Arquitectos + Surtierra Arquitectura.
- **Figura 049** Panel de bahareque prefabricado con aislante de viruta y pucón.
- **Figura 050** Quincha metálica, Proceso constructivo.
- **Figura 051** Quincha metálica (Tecnobarro), Proceso constructivo.
- **Figura 052** Tierra alivianada o Vertida, Proceso constructivo.
- **Figura 053** Fijación de Geomallas a pared.
- **Figura 054** Instalación de la geomalla en muros de adobe.
- **Figura 055** Malla longitudinal, traslape con malla esquinera, conector y fijación de mallas.
- **Figura 056** Instalación de la malla y fijación con clavo y chapa.
- **Figura 057** Muros de adobe y celosías en el edificio para la asociación Yeredemé, Mopti, Mali.

010

058

058

058

058

058

059

059

059

059

060

060

061

061

061

062

062

062

063

063

## UCUENCA

- **Figura 058** Detalles constructivos de la galería y la cubierta del edificio para la asociación Yeredemé, Mopti, Mali.
- **Figura 059** Esquema de armado con cerchas.
- **Figura 060** Ladrillos Bio Fabricados.
- **Figura 061** Diagrama de granulometría.
- **Figura 062** Diagrama de plasticidad.
- **Figura 063** Construcción de la mitad inferior del módulo con refuerzo de PVC.
- **Figura 064** Visualización de paneles colocados de forma vertical.
- **Figura 065** Investigación de BTC con lana y algas.
- **Figura 066** Bloque de cáñamo. BTC con cáñamo para muros aislantes y estructurales y muros de división interior.
- **Figura 067** Probetas ensayadas a la compresión.
- **Figura 068** Proceso constructivo de sistema Sandino.
- **Figura 069** Propuesta de vivienda social con sistema Sandino adaptado a Ecuador.
- **Figura 070** Propuesta de vivienda social con sistema Sandino adaptado a Ecuador, Axonometría.
- **Figura 071** Rango de diagrama de textura de suelos
- **Figura 072** Rango de diagrama de plasticidad de suelos.
- **Figura 073** Rango de diagrama de texturas de tierras.
- **Figura 074** Rango de diagrama de plasticidad de tierras.
- **Figura 075** Localización de extracción de muestras en Pucará.
- **Figura 076** Localización de extracción de muestras en Cuenca.

011

063

063

064

065

065

064

066

066

066

066

068

068

069

073

073

073

073

076

077

## UCUENCA

- **Figura 077** Ensayo de olor.
- **Figura 078** Ensayo de mordedura.
- **Figura 079** Ensayo de lavado.
- **Figura 080** Ensayo de corte.
- **Figura 081** Ensayo de la bola.
- **Figura 082** Ensayo de consistencia.
- **Figura 083** Diagrama comparativo de suelos. Ensayo de granulometría.
- **Figura 084** Diagrama comparativo de suelos. Ensayo de plasticidad.
- **Figura 085** Diagrama comparativo de suelos. Ensayo Proctor.
- **Figura 086** Secado de material apilado (T\_02).
- **Figura 087** Zaranda o cernidor de malla.
- **Figura 088** Cilindro cernidor.
- **Figura 089** Mezclado de material.
- **Figura 090** Prensa con gato hidráulico de 50 ton.
- **Figura 091** Rotura de panel por transporte.
- **Figura 092** Curado de paneles BTC.
- **Figura 093 y 094** Rotura de panel BTC.
- **Figura 095** Diagrama de resistencia de paneles y el marco normativo.
- **Figura 096** Prensa hidráulica.

012

078  
078  
078  
079  
079  
081  
082  
083  
085  
085  
086  
086  
087  
087  
087  
089  
090  
097

## UCUENCA

- **Figura 097** Perfil UPN.
- **Figura 098** Perfil IPN.
- **Figura 099** Rigidizador triangular.
- **Figura 100** Simulación de pórtico de prensa.
- **Figura 101** Zaranda o cernidor de malla.
- **Figura 102** Moledor manual.
- **Figura 103** Cernidora manual.
- **Figura 104** Perfil UPN.
- **Figura 105** Cilindro cernidor en acero.
- **Figura 106** PB\_01. Panel Base (90x30x6 cm).
- **Figura 107** PF\_01 - PF\_05. Panel 1% de fibras (90x30x6 cm).
- **Figura 108** PC\_01. Panel 20% de Cal (90x30x6 cm).
- **Figura 109** PC\_02. Panel 5% de Cemento (90x30x6 cm).
- **Figura 110** PC\_03. Panel 10% de Cemento (90x30x6 cm).
- **Figura 111** PC\_04. Panel 15% de Cemento (90x30x6 cm).
- **Figura 112** PC\_05. Panel 20% de Cemento (90x30x6 cm).
- **Figura 113** PC\_06. Panel 25% de Cemento (90x30x6 cm).
- **Figura 114** Diagrama de análisis de costos y la incidencia del tipo de prensa.
- **Figura 115** Diagrama de costos por m<sup>2</sup> de cierre y la incidencia en el precio por m<sup>2</sup> de vivienda.

013

097  
097  
097  
098  
098  
098  
099  
099  
101 y 110  
102 y 111  
103 y 112  
104 y 113  
105 y 114  
106 y 115  
107 y 116  
108 y 117  
118  
122

## UCUENCA

- **Figura 116** Los alginatos: 20000 usos de las algas submarinas.
- **Figura 117** Sand mine in the Czech Republic, Bratčice.
- **Figura 118** Sporosarcina pasteurii can form nanoscale calcium carbonate crystals on cell surface.
- **Figura 119** Cabello humano ampliado 200 veces.
- **Figura 120** Cascarilla de arroz.
- **Figura 121** Ceniza volcánica.
- **Figura 122** Aserrín.
- **Figura 123** Fibra de banano.
- **Figura 124** MADEJAS DE HILOS DE CABUYA NATURAL.
- **Figura 125** Fibras de cáñamo.
- **Figura 126** Fibra de carrizo.
- **Figura 127** Fibra de coco.
- **Figura 128** Fibra de paja.
- **Figura 129** Fibra de totora.
- **Figura 130** Lana de oveja.
- **Figura 131** Resina de nopal.
- **Figura 132** Temperatura.
- **Figura 133** Aceite de linaza.
- **Figura 134** Melaza.

014

202

202

203

203

204

204

205

205

206

206

207

207

208

208

209

209

210

210

211

## UCUENCA

- **Figura 135** Miel de abeja.
- **Figura 136** Resina de pino.
- **Figura 137** Cal.
- **Figura 138** Cemento.
- **Figura 139** Cola plástica.
- **Figura 140** Emulsión asfáltica.
- **Figura 141** Fibra plástica PET.
- **Figura 142** Fibra de vidrio.
- **Figura 143** Sal.
- **Figura 144** Yeso.
- **Figura 145** Aceite quemado.
- **Figura 146** Cal.
- **Figura 147** Cáscara de camarón.
- **Figura 148** Caceína (suero).
- **Figura 149** Cola plástica.
- **Figura 150** Cera de parafina.
- **Figura 151** Emulsión asfáltica.
- **Figura 152** Sellador mate maxilane.

015

211

212

212

213

213

214

214

215

215

216

216

217

217

218

218

219

219

220

## Índice de Tablas

- **Tabla 01** Rangos de tamaño de suelo.
- **Tabla 02** Rangos de tamaño de suelo.
- **Tabla 03** Valores de densidad real de los principales materiales y horizontes edáficos.
- **Tabla 04** Valores críticos de densidad aparente en función de la textura.
- **Tabla 05** Listado de normas y reglamentos encontrados.
- **Tabla 06** Plasticidad de técnicas constructivas en tierra.
- **Tabla 07** Conductividad de los materiales.
- **Tabla 08** Resumen de normativas para BTC.
- **Tabla 09** Compilación de Aditivos Naturales.
- **Tabla 10** Compilación de Aditivos Sintéticos.
- **Tabla 11** Lugares de extracción de muestras.
- **Tabla 12** Ensayos empíricos T\_01 Y T\_02 (Challuabamba y Monay).
- **Tabla 13** Ensayos empíricos T\_03 Y T\_04 (Nulti y Deuta).
- **Tabla 14** Resultados de caracterización de suelos.
- **Tabla 15** Dosificaciones de paneles BTC.
- **Tabla 16** Cuadro de resistencias de panel BTC.
- **Tabla 17** Perfilera usada en construcción de prensa.
- **Tabla 18** Perfilera usada en construcción de cilindro cernidor.
- **Tabla 19** Costo de construcción de prensa, cofre y cilindro cernidor.

016

032

032

039

039

049

050

057

074

075

075

076

078

079

084

088

091

097

099

100

017

- **Tabla 20** APUS, PB\_01. Panel base, gata manual 50 toneladas.
- **Tabla 21.** APUS, PF\_01 - PF\_05. Panel 1% de fibras, gata manual 50 toneladas.
- **Tabla 22** APUS, PC\_01. Panel 20% de cal, gata manual 50 toneladas.
- **Tabla 23** APUS, PC\_02. Panel 5% de cemento, gata manual 50 toneladas.
- **Tabla 24** APUS, PC\_03. Panel 10% de cemento, gata manual 50 toneladas.
- **Tabla 25** APUS, PC\_04. Panel 15% de cemento, gata manual 50 toneladas.
- **Tabla 26** APUS, PC\_05. Panel 20% de cemento, gata manual 50 toneladas.
- **Tabla 27** APUS, PC\_06. Panel 25% de cemento, gata manual 50 toneladas.
- **Tabla 28.** APUS, PB\_01. Panel base, gata hidráulica mecánica.
- **Tabla 29.** APUS, PF\_01 - PF\_05. Panel 1% de fibras, gata hidráulica mecánica.
- **Tabla 30** APUS, PC\_01. Panel 20% de cal, gata hidráulica mecánica.
- **Tabla 31** APUS, PC\_02. Panel 5% de cemento, gata hidráulica mecánica.
- **Tabla 32** APUS, PC\_03. Panel 10% de cemento, gata hidráulica mecánica.
- **Tabla 33** APUS, PC\_04. Panel 15% de cemento, gata hidráulica mecánica.
- **Tabla 34** APUS, PC\_05. Panel 20% de cemento, gata hidráulica mecánica.
- **Tabla 35** APUS, PC\_06. Panel 25% de cemento, gata hidráulica mecánica.
- **Tabla 36** Análisis de costo de vivienda social de Ecuador.
- **Tabla 37** Insidencia de cerramiento según tipo de panel en vivienda de Farfán y Lopez (2023)
- **Tabla 38** Análisis de costo de sistema de cierre.

101

102

103

104

105

106

107

108

110

111

112

113

114

115

116

117

120

121

121

## UCUENCA

- **Tabla 39** Síntesis de resultados por cada tipología de panel experimentado.
- **Tabla 40** Especificaciones de aditivo - algas.
- **Tabla 41** Especificaciones de aditivo - arena.
- **Tabla 42** Especificaciones de aditivo - bacterias.
- **Tabla 43** Especificaciones de aditivo - cabello.
- **Tabla 44** Especificaciones de aditivo - cascarilla de arroz.
- **Tabla 45** Especificaciones de aditivo - ceniza volcánica.
- **Tabla 46** Especificaciones de aditivo - fibra de aserrín.
- **Tabla 47** Especificaciones de aditivo - fibra de bagazo de plátano.
- **Tabla 48** Especificaciones de aditivo - fibra de cabuya.
- **Tabla 49** Especificaciones de aditivo - fibra de cáñamo.
- **Tabla 50** Especificaciones de aditivo - fibra de carrizo.
- **Tabla 51** Especificaciones de aditivo - fibra de coco.
- **Tabla 52** Especificaciones de aditivo - fibra de paja.
- **Tabla 53** Especificaciones de aditivo - fibra de totora.
- **Tabla 54** Especificaciones de aditivo - lana de oveja.
- **Tabla 55** Especificaciones de aditivo - resina de nopal.
- **Tabla 56** Especificaciones de aditivo - temperatura.
- **Tabla 57** Especificaciones de aditivo - aceite de linaza.

018

128

202

202

203

203

204

204

205

205

206

206

207

207

208

208

209

209

210

210

## UCUENCA

- **Tabla 58** Especificaciones de aditivo - melaza.
- **Tabla 59** Especificaciones de aditivo - miel de abeja.
- **Tabla 60** Especificaciones de aditivo - resina de pino.
- **Tabla 61** Especificaciones de aditivo - cal.
- **Tabla 62** Especificaciones de aditivo - cemento.
- **Tabla 63** Especificaciones de aditivo - cola plástica.
- **Tabla 64** Especificaciones de aditivo - emulsión asfáltica.
- **Tabla 65** Especificaciones de aditivo - fibras plásticas.
- **Tabla 66** Especificaciones de aditivo - fibra de vidrio.
- **Tabla 67** Especificaciones de aditivo - sal.
- **Tabla 68** Especificaciones de aditivo - yeso.
- **Tabla 69** Especificaciones de aditivo - aceite quemado.
- **Tabla 70** Especificaciones de aditivo - cal.
- **Tabla 71** Especificaciones de aditivo - cáscara de camarón.
- **Tabla 72** Especificaciones de aditivo - caseína (suero de leche).
- **Tabla 73** Especificaciones de aditivo - cola plástica.
- **Tabla 74** Especificaciones de aditivo - cera de parafina.
- **Tabla 75** Especificaciones de aditivo - emulsión asfáltica.
- **Tabla 76** Especificaciones de aditivo - sellador comercial Maxiline, Intaco.

019

211

211

212

212

213

213

214

214

215

215

216

216

217

217

218

218

219

219

220

## UCUENCA

- **Tabla 77** Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T\_01.
- **Tabla 78** Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T\_02.
- **Tabla 79** Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T\_03.
- **Tabla 80** Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T\_04.
- **Tabla 81** Ensayo Proctor de suelo T\_01.
- **Tabla 82** Ensayo Proctor de suelo T\_02.
- **Tabla 83** Ensayo Proctor de suelo T\_03.
- **Tabla 84** Ensayo Proctor de suelo T\_04.
- **Tabla 85** Ensayo de plasticidad T\_01
- **Tabla 86** Ensayo de plasticidad T\_02
- **Tabla 87** Ensayo de plasticidad T\_03
- **Tabla 88** Ensayo de plasticidad T\_04

020

222

222

223

223

224

224

224

224

225

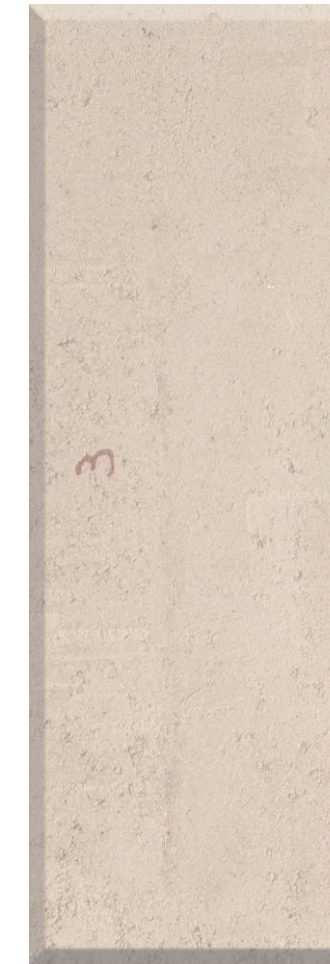
225

226

226

## UCUENCA

021



**Agradecimientos**

Agradecemos a todos nuestros docentes, amigos y familiares que han estado presentes a lo largo de la carrera universitaria; indudablemente llegamos a la recta final gracias a sus enseñanzas. Al arquitecto Juan Uyaguari que nos ha acogido en el laboratorio de suelos de la Facultad de Arquitectura, brindándonos asesoramiento y colaboración en todo momento.

Agradecemos de manera especial a nuestro tutor el ingeniero Xavier Cárdenas que nos ha brindado su apoyo y confianza a lo largo de la investigación del presente trabajo de titulación. De igual manera a nuestro asesor el ingeniero Julver por su compromiso al brindarnos ayuda en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería.

*Kevin y Juan Pablo*

**Dedicatoria**

A mis padres:

Esthela Berrezueta, mi apoyo incondicional en buenas y malas. Nicolas Carmona, mi ejemplo de tenacidad y firmeza.

A mi familia, que siempre ha manifestado un apoyo incondicional; en especial a mis padres que me han brindado su confianza y cariño en todo momento.

A mi enamorada, que me ha acompañado en gran parte de mi vida universitaria; es uno más de mis amigos que ha sabido enseñarme, más de una cosa que ignoraba por completo.

*Kevin Narvaez*

A mis amigos; pocos, pero de una calidad excepcional, gracias por acompañarme en todos los momentos que compartimos juntos. Gracias por las enseñanzas, por las locuras y por el tiempo que me han brindado. De manera especial a mi gran amigo Bryan Vélez, a quien lastimosamente ya no tengo el placer de ver y con quien espero poder conversar en otra vida del incesante e incipiente pensamiento del ser.

*Juan Pablo Parra*

**1.1. Planteamiento del problema.**

La construcción contemporánea genera grandes repercusiones ambientales. Enshassi et al. (2014) en su estudio de «Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción» abordan la gravedad del impacto generado por la industria de la construcción. Tal es el caso, que mencionan a las actividades de construcción como las principales responsables de generar contaminación ambiental. Por este motivo, es necesario minimizar la contaminación por parte de la construcción. Y, un factor clave es la reinterpretación y revalorización de técnicas de construcción con tierra, las cuales estén apoyadas por la investigación, el sustento teórico y registros que faciliten la innovación y desarrollo de estos criterios. Como muestra; la construcción con tierra aprovecha la materia prima del lugar, minimizando el transporte de material a la obra. Con respecto a ello, el presente trabajo de titulación busca contribuir al desarrollo de construcción mediante el registro de estudios, información e instrumentos aplicativos sobre propiedades de materiales para la edificación con tierra. De esta forma, se garantiza mediante un proceso de prefabricación un bajo impacto ambiental en su producción y un margen de efectividad constructiva.

que mencionan a las actividades de construcción como las principales responsables de generar contaminación ambiental. Por este motivo, es necesario minimizar la contaminación por parte de la construcción. Y, un factor clave es la reinterpretación y revalorización de técnicas de construcción con tierra, las cuales estén apoyadas por la investigación, el sustento teórico y registros que faciliten la innovación y desarrollo de estos criterios. Como muestra; la construcción con tierra aprovecha la materia prima del lugar, minimizando el transporte de material a la obra. Con respecto a ello, el presente trabajo de titulación busca contribuir al desarrollo de construcción mediante el registro de estu-

**1.2. Objetivo general.**

Potenciar la construcción del sistema Sandino en tierra, a través de la propuesta de un catálogo de paneles de BTC como instrumento de aplicación que plantea la industrialización de la tierra.

**1.3. Objetivos específicos.**

- 1.- Caracterizar de manera física y mecánica los paneles de tierra tipo BTC.
- 2.- Diseñar y construir 3 opciones de paneles de BTC, adaptables al sistema Sandino.
- 3.- Comparar el costo beneficio del sistema Sandino con paneles de tierra frente a otros sistemas de vivienda económica.

**1.4. Hipótesis**

Se puede reemplazar aditivos de la industria por fibras vegetales en la producción de BTC, de modo que conserve o mejore las características mecánicas y reduzca el costo y demanda de trabajo.



# Capítulo 1. Marco Teórico

### 1.1. Introducción

La tierra es una fuente infinita de conocimiento por descubrir y explorar en el medio constructivo. Das (2013) define al suelo como “el agregado no cementado de granos minerales, materia orgánica descompuesta junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre partículas sólidas” (p.1). Además, menciona que el suelo es parte fundamental en las construcciones, y por ello se debe estudiar sus propiedades, tales como: origen, distribución granulométrica, capacidad para drenar agua, compresibilidad, resistencia cortante, capacidad de carga, entre otras (Das, 2013). Aquellas propiedades ayudarán a comprender de mejor manera la importancia y función de la tierra dentro de los sistemas constructivos. Y así, posteriormente proponer un valor agregado (aditivos, estabilizantes e impermeabilizantes). Vieira et al (2011) menciona que:

*“La relación del hombre con la tierra siempre fue familiar y es necesario preservar esta tradición. Sin embargo, es importante desarrollar y mejorar las técnicas de construcción con tierra para equiparar su eficiencia a los sistemas de construcción establecidos hoy en día en el mercado.” (p.47)*

También, es importante abordar el tema de la construcción prefabricada. Pues, es una forma eficiente y económica para resolver problemáticas en viviendas particulares y en masa. Según Togores (2011), uno de los ejemplos con clara aplicación de eficiencia y economía es el sistema Sandino empleado en Cuba como respuesta a la problemática de vivienda social. El sistema Sandino es un método de construcción ligero, que hace uso de elementos prefabricados de hormigón (paneles y columnas) en módulos de alrededor de 1 metro, explicado por Medina & Rodríguez (1986). Sin embargo, la desventaja del sistema es el impacto ambiental por el uso del cemento como material base. Por tal motivo, es importante adaptar el sistema Sandino y aplicarlo en la construcción contemporánea. Con res-

pecto a ello, Farfán & Lopez (2023) proponen el uso de la tierra y el bambú como materiales base, de modo que elevan la calidad ambiental del sistema. Por ello, se pretende tomar como punto de partida el sistema Sandino adaptado por Farfán & Lopez (2023) y enfocarse en los paneles de tierra; con el objetivo de experimentar, desarrollar e incorporar los al sistema constructivo. Y por consiguiente, que esta experimentación permita el fortalecimiento y adaptabilidad de los materiales.

Es pertinente mencionar la investigación de Vega et al. (2012) que plantea una tesis de grado llamada «Diseño de paneles prefabricados en tierra». En este trabajo experimentan con diferentes proporciones de arena, arcilla y algunos aditivos para llegar a un panel de tierra resistente y liviano como una alternativa de acabado. A partir de esto, es oportuno proponer paneles adaptables al sistema Sandino, con propiedades: estructurales, arquitectónicas, ambientales y económicas.

Además, parte de la experimentación se enfocará directamente en los aditivos naturales y de la industria que puedan ayudar al desarrollo y propiedades de la tierra para la construcción. Hay que tener en cuenta que el uso de aditivos es parte de una memoria y prueba colectiva a lo largo de la historia; dentro de las distintas características, estas ayudan a impermeabilizar, mejorar la densidad, aumentar la capacidad portante, disminuir la porosidad del acabado de la tierra, entre otros. Algunos aditivos naturales que han dado resultados favorables en construcción con tierra son: “estiércol de vaca, aceite de linaza, Caseína con Cal” (Arquinal Ong, 2015). Sin embargo, también se debe analizar su comportamiento y viabilidad en sistemas contemporáneos de construcción con tierra, con el objetivo de impulsar y facilitar la edificación de calidad y de bajo costo.

Al mismo tiempo, para la fase experimental y de análisis, el uso de normas internacionales de cons-

trucción en tierra, es obligatorio. Ya que, en Ecuador aún sigue en proceso de desarrollar normativas de ese tipo. Por esta razón, se tomarán normativas como: la colombiana, brasileña y española. Posterior a los estudios de análisis y experimentación, la evaluación de los resultados y la compilación de los mismos, ayudará en el armado de un catálogo de paneles de BTC como instrumento aplicativo en la construcción en tierra, que cumpla con los objetivos propuestos en el presente trabajo de titulación.

## 1.2. Generalidades del suelo

El suelo es el producto de la meteorización de las rocas y minerales; que dan como resultado una variedad de tamaños, formas y composición de partículas que generalmente dictan su comportamiento. La forma del relieve del suelo interviene en la meteorización, haciendo ciertos lugares más propensos a erosiones, sedimentaciones e infiltraciones. Algunas de las características esenciales del suelo son:

- Granulometría.
- Minerales y arcillas.
- Densidad.
- Porosidad.
- Color.
- Estructura.
- Permeabilidad.
- Ph.

El suelo está formado por un conglomerado de componentes que fueron meteorizados, Marín Serina et al. (2011) sostiene que:

*“El suelo se compone esencialmente de una parte sólida, a ésta le llamamos Fase Sólida del suelo. Ésta a la vez posee arcillas y una pequeña fracción de materia orgánica. La fase sólida constituye el 50% del total del suelo. Aproximadamente el 25% del suelo está ocupado por gases y el 25% restante por agua sobre todo del tipo capilar e higroscópica.”(p.21) (Figura 001).*

### 1.2.1 Granulometría.

El tamaño de las partículas de suelo permite categorizarlas como: grava, arena, limo y arcilla. Los diferentes institutos y organizaciones suelen tener ligeras diferencias al clasificar las partículas según sus tamaños (Tabla 01 y Tabla 02).

Dentro de este apartado es muy importante abordar que las arcillas se agrupan en base a su tamaño, por lo que se debería nombrar como partículas de tamaño de arcilla. Sin embargo, un mineral de arcilla no está definido sólo por su tamaño, también lo

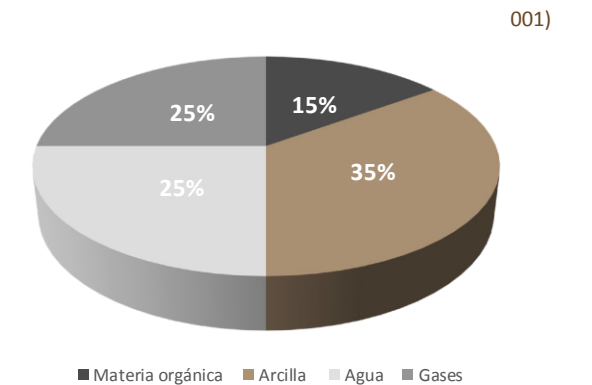


Figura 001 Composición del suelo. Marín Serina et al. (2011).

Tabla 01 Rangos de tamaño de suelo en mm. Das (2013).

Organización	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	<0,002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	<0,002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76,2 a 2	2 a 0,075	0,075 a 0,002	<0,002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	Finos (Limos y arcillas) <0,075	

Tabla 02 Rangos de tamaño de suelo en mm. Ciancaglini (2010).

Autor	Gravillas y gravas	Arena gruesa	Arena fina	Limo	Arcilla
Ciancaglini (2010)	>2	2 a 0,2	0,2 a 0,02	0,02 a 0,002	<0,002

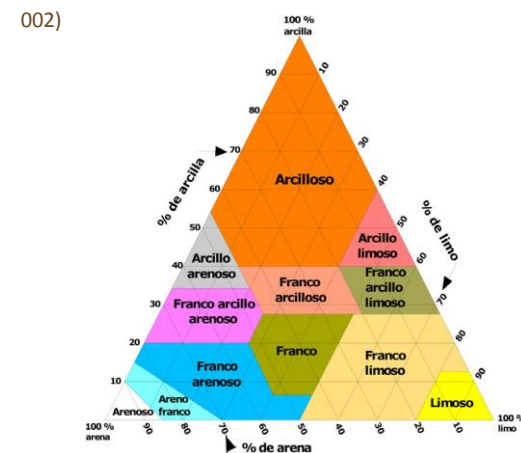


Figura 002 Triángulo textural de USDA. Ciancaglini (2010).

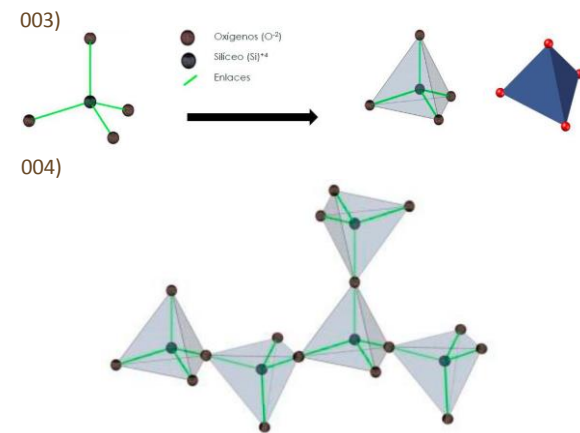


Figura 003 Esquema de la disposición espacial de los cationes y aniones. Ibañez et al. (2011).

Figura 004 Oxígenos compartidos. Ibañez et al. (2011).

está por sus propiedades físicas y químicas.

Según Ciancaglini, N. (2010), la granulometría permite hacer una clasificación textural de los suelos dentro de 12 categorías. La escala de clasificación americana utiliza un triángulo de texturas para catalogarlos (Figura 002).

### 1.2.2 Minerales y arcillas.

Las arcillas tienen propiedades físico-químicas que derivan principalmente de su tamaño extremadamente pequeño y su capacidad de sustitución isomórfica. “Los minerales<sup>01</sup> primarios y las arcillas son aquellos que constituyen el material original del suelo, pueden pasar a éste por un proceso de micro división.” (Marín Serna et al., 2011, p.22). Grim (1953) menciona que, las arcillas son aquellas partículas que generan plasticidad en contacto con una cantidad limitada de agua. En este apartado, es

<sup>01</sup> Un mineral es todo elemento inorgánico.

importante abordar el tema de los silicatos, puesto que las arcillas lo son. Según Ibañez Asensio et al., (2011), los silicatos son todos aquellos minerales compuestos de silicio y oxígeno. Estos minerales forman una unidad básica en forma de tetraedro, llamada tetraedro de silicio (SiO<sub>4</sub>). Un tetraedro de silicio se forma por el enlace de 4 aniones de oxígeno en los vértices del tetraedro, y un catión de silicio (Si<sup>4+</sup>) (Figura 003).

Ibañez et al., (2011), explica que cada uno de los oxígenos situados en el tetraedro tiene un enlace por satisfacer (carga negativa), por lo que su carga está desequilibrada y para compensarlo existen dos maneras; compartir oxígenos entre tetraedros adyacentes (Figura 004) o enlazar los oxígenos mediante cationes (Figura 005).

Ibañez et al., (2011) explica las posibles permutaciones de los grupos silicatos:

- Nesosilicatos.- Se enlazan a través de cationes, no comparten oxígeno (Figura 006).

- Sorosilicatos.- Se organizan en pares de tetraedros a través de oxígenos, y usan cationes para unirse entre pares (Figura 007).

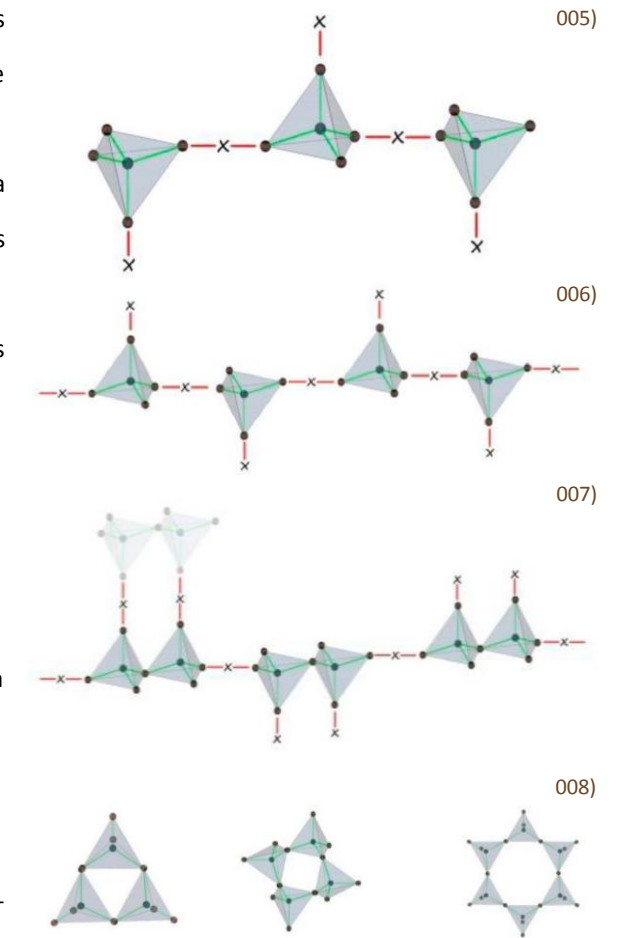
- Ciclosilicatos.- Los tetraedros se unen entre sí a través del oxígeno en grupos de 3,4 o 6, en formas de anillo (Figura 008).

- Inosilicatos.- Se clasifican en dos subgrupos, los piroxenos y los anfíboles.

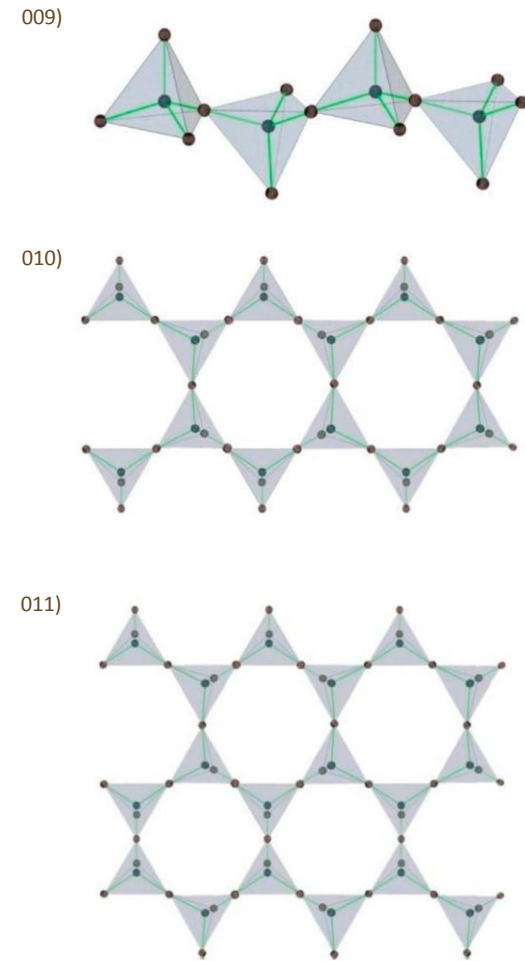
- Piroxenos.- Tetraedros organizados en forma de cadena, enlazados entre sí a través del oxígeno en una dirección (Figura 009).

- Anfíboles.- Tetraedros enlazados entre sí a través del oxígeno, y en una disposición de cadenas dobles conectadas entre sí. (Figura 010).

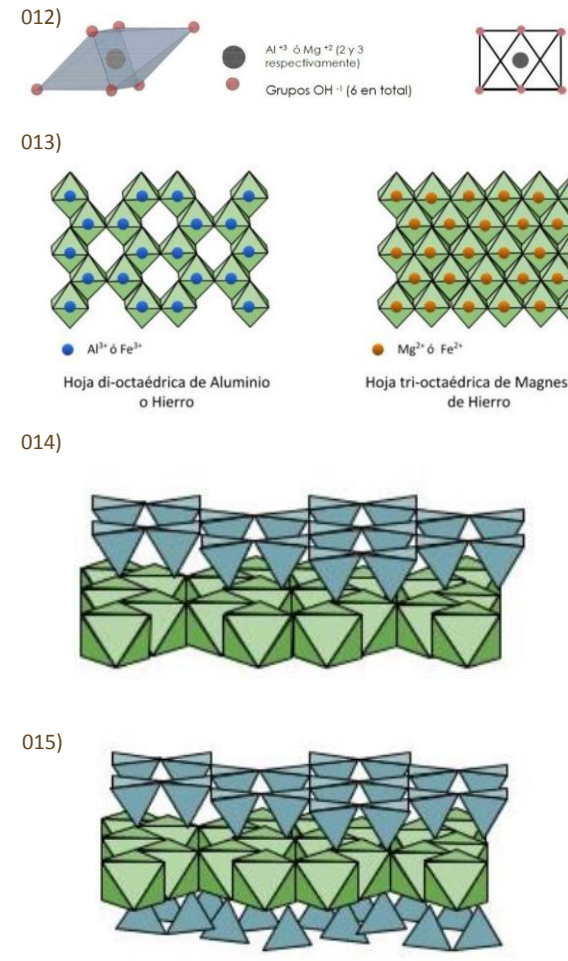
- Filosilicatos.- Son cadenas de inosilicatos enlazadas entre sí, a través del oxígeno para formar láminas con todos los oxígenos satisfechos (siloxano) (Figura 011).



Figuras 005) Óxidos cationes. 006) Disposición de los tetraedros. 007) Esquema de disposición. 008) Disposición espacial de los tetraedros. Ibañez et al. (2011).



**Figuras 009)** Disposición de las cadenas de tetraedros. **010)** Disposición espacial de las cadenas dobles. **011)** Disposición de los tetraedros en la lámina de siloxano. Ibañez et al. (2011).



**Figuras 013)** Capas octaédricas. **014)** Estructura TO 1:1. **015)** Estructura TO 2:1. Artes cerámicas. (2020).

Por consiguiente, los silicatos son minerales que se forman por tetraedros que contienen silicio y oxígeno. Los cuales juegan un papel fundamental en la composición de las arcillas. Sin embargo, en los filosilicatos no todas las láminas son de tetraedros de silicio; por el contrario, se encuentran intercaladas con láminas de octaedros. El octaedro (Figura 012) se encuentra formado por 6 grupos hidróxidos y por cationes de Al +3 (forma láminas de gibsita) o de Mg +2 (forma láminas de brucita) (Figura 013). Las arcillas son minerales formados por láminas, por lo que son filosilicatos. Dentro de los filosilicatos también existen diferentes agrupaciones y permutaciones, que dependiendo de la naturaleza de las láminas y el intercalado de las mismas, se pueden clasificar en un grupo u otro. Ibañez et al. (2011) explica lo siguiente:

- Filosilicatos 1:1.- En este grupo cada lámina de tetraedros se une a las de los octaedros (Figura 014).
- Filosilicatos 2:1.- Las láminas de octaedros están

entre las láminas de tetraedros (Figura 015).  
 - Filosilicatos 2:2.- Al grupo filosilicato 2:1 se le une una lámina trioctaédrica (Figura 016).  
 Tectosilicatos.- Son láminas de siloxano enlazadas entre sí a través de los oxígenos, por lo que no tiene cationes en el enlace (Figura 017).

**1.2.2.1 Capacidad de intercambio catiónico.**

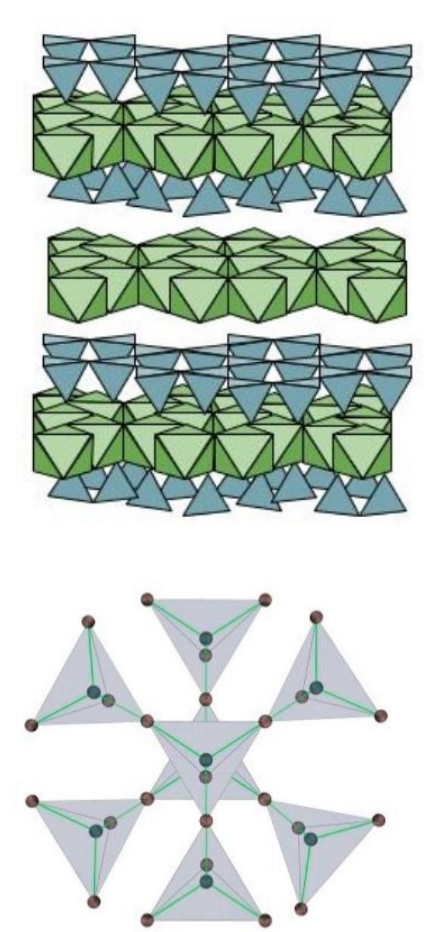
Es la capacidad que tienen las arcillas de intercambiar cationes que se encuentran en su superficie. García Romero y Suárez Barrios (2008) sostiene que “Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes”. Esa capacidad permite (entre otras aptitudes) la hidratación y retención de agua de las arcillas.

“La singularidad de la arcilla radica en el hecho de estar formada por sílicoaluminatos hidratados que

provienen de la milenaria desintegración geológica de rocas. Está constituida por cristales -micelas- que, debido a su forma plana y lisa, presentan la cualidad de desplazarse fácilmente entre el resto de las partículas y establecer relaciones electrostáticas que las ligan en conjunto. Este desplazamiento depende de su contacto con el agua y, a nivel macroscópico, se evidencia en la transformación del suelo en un material plástico, coloidal o hasta líquido, que recupera su estado sólido original al secar” (Warren, 1999, pp. 40-41, como se citó en Guerrero Baca, 2007, p.186)

**1.2.2.2 Superficie específica.**

La superficie específica permite conocer propiedades de los granos de un sólido (en este caso las arcillas). Pues, las arcillas atraen las moléculas de agua a su superficie. Por consiguiente, a mayor superficie, más agua atraída y viceversa; lo que provoca mayor hinchamiento y plasticidad (Se puede cuan-



**Figura 016)** Estructura TO 2:1:1. Artes cerámicas. (2020). **Figura 017)** Disposición espacial. Ibañez et al. (2011).

tificar con los índices de atterberg). Una peculiaridad de las arcillas es que, mientras más pequeño es el grano, su superficie específica es mucho más grande.

*“La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m<sup>2</sup>/g” (García Romero & Suárez Barrios, 2008, p.8).*

El comportamiento característico de las arcillas se debe en parte a la superficie específica y al pequeño tamaño de sus granos, pues en palabras de Fernández Navarro (1962):

*“En las arcillas, debido al pequeño tamaño de sus partículas y a la gran superficie que consecuentemente presentan, aparecen muy exaltados todos los fenómenos de superficie, como son las propiedades coloidales, la atracción intermolecular, etc., y, por tanto, su plasticidad viene también notablemente*

*afectada por el valor de dicha superficie” (p.459).*

Es por esta propiedad, que algunas arcillas cambian de volumen más que otras en contacto con el agua. Tal es el ejemplo de la montmorillonita, que según Das (2013) tiene una superficie específica de aproximadamente 800 m<sup>2</sup>/gr . Por qué se considera como una arcilla expansiva.

**1.2.2.3 Límites de consistencia.**

Carazas (2017) menciona que la tierra es un material trifásico; compuesto por minerales, líquidos y gases. Entre las partículas de minerales del suelo se encuentran porosidades que son ocupadas por los líquidos y gases en diferentes proporciones; dependiendo de estas proporciones la tierra puede tener variaciones cualitativas y cuantitativas. Estas variaciones se definen en 5 estados hídricos de la tierra: Seco, húmedo, plástico, viscoso y líquido.

A parte, Atterberg identifica la relación de los tres estados de la tierra, a través de los índices de atter-

berg que permiten cuantificar la plasticidad de los suelos a través de definir los límites (líquido, plástico y de retracción). (Figura 018).

INACAP (s.f.) explica los estados de consistencia como:

- Estado líquido.- Comportamiento de un líquido, con la apariencia y propiedades de suspensión.  
 - Estado semilíquido.- Se asemeja a un fluido denso y viscoso.

- Estado plástico.- El suelo tiene propiedades plásticas, es decir, es maleable.

- Estado semisólido.- El suelo aparentemente está sólido, pero disminuye su volumen al ser secado.

- Estado sólido.- El suelo no presenta variaciones de volumen al someterse a secado.

- Límite líquido.- “Atterberg llamó a la frontera entre los estados semilíquido y plástico, Límite Líquido” (INACAP, s.f., p.5.).

- Límite plástico.- “La frontera convencional entre los estados plástico y semisólido fue llamada por Atterberg, Límite Plástico” (INACAP, s.f., p.5.).

- Límite retracción.- “ El Límite de Contracción, corresponde a la frontera entre los estados de consistencia, semisólido a sólido, y fue definido por Atterberg como el contenido de agua con el que el suelo ya no disminuye su volumen al seguirse secando.” (INACAP, s.f., p.5.).

El límite líquido y plástico se consideran como el punto superior e inferior de la plasticidad. Con estos límites se puede conseguir el índice plástico que es el que muestra el rango de humedad en la que el suelo se mantiene plástico.

**1.2.2.4 Estabilidad de las arcillas.**

Los filosilicatos (grupo de las arcillas), tienen a reaccionar<sup>02</sup> de diferentes formas según el grupo y la

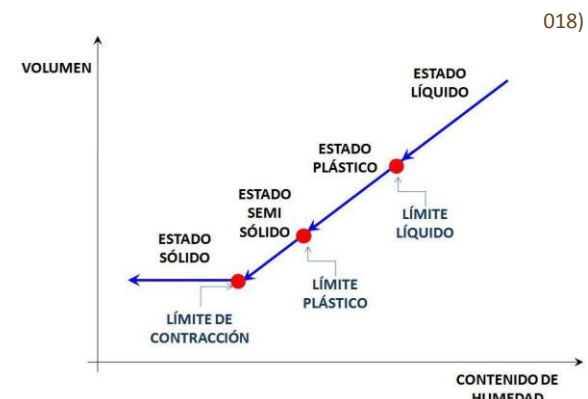


Figura 018 Estados de consistencia de los suelos. INACAP, (s.f.).

02 Entiéndase cómo reaccionar, al cambio de la distancia basal.

019)

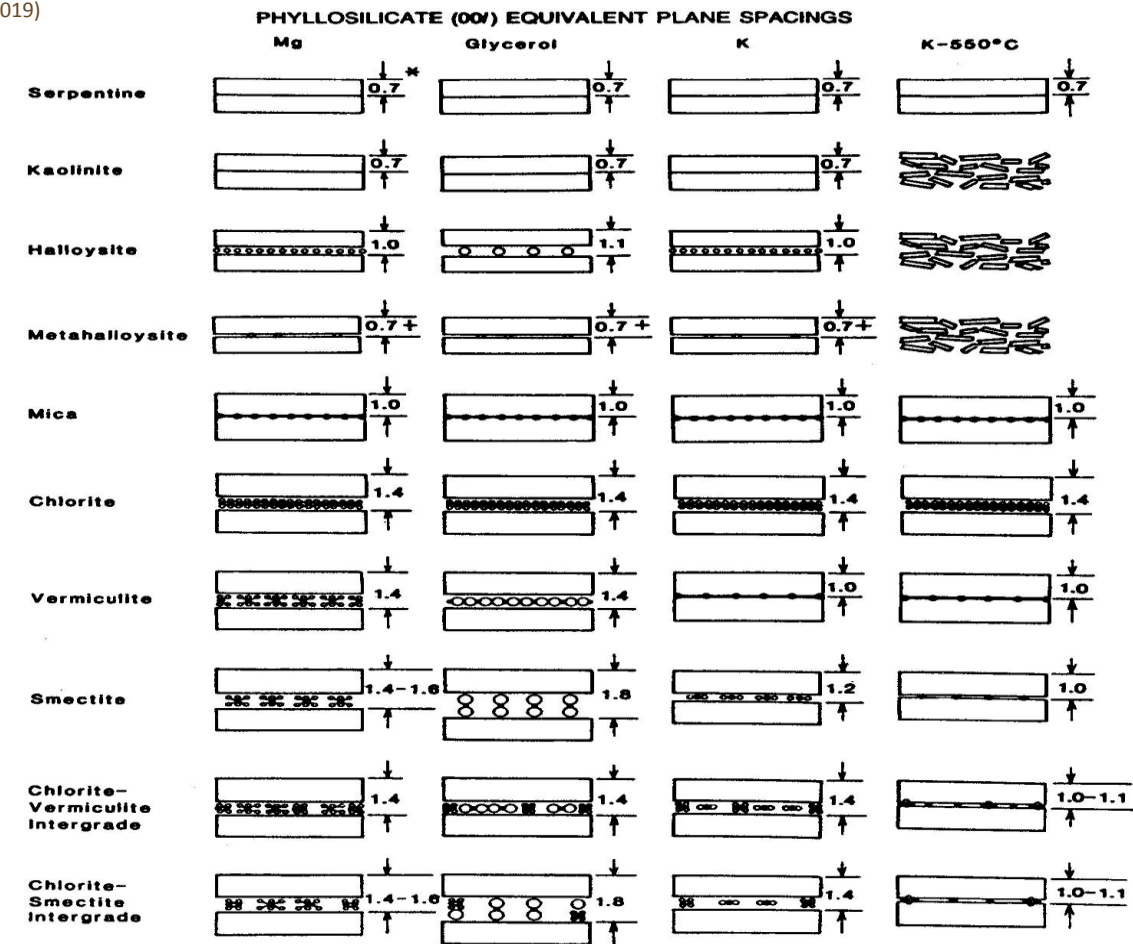


Figura 019 Respuesta de los silicatos a tratamientos diferenciadores (separaciones en nm). Mitchell & Soga (2005).

03 Densidad aparente.- Relación de la masa del suelo seco entre el volumen del suelo inalterado en campo (gr/cm<sup>3</sup> o tn/m<sup>3</sup>).  
 04 Densidad real.- Relación de la masa del suelo seco entre el volumen real, obtenido mediante el picnómetro por método de arquímedes (gr/cm<sup>3</sup> o tn/m<sup>3</sup>).

sustancia a la que sean sometidas; dependiendo de la arcilla la distancia basal aumenta o se mantiene. Por eso, se comenta que algunas arcillas son más estables que otras. Puesto que, cierta variedad de arcillas no se inmutan frente a diferentes agentes o inclusive circunstancias (Figura 019).

### 1.2.3 Densidad

El suelo es el conjunto de partículas de diversas naturalezas, que dejan entre sí cavidades de aire que se consideran como las porosidades del suelo. De allí se define la densidad, pero esta dependerá del grado de compactación. Por ello, se establecen dos clases: Densidad aparente<sup>03</sup> y densidad real<sup>04</sup>.

La densidad del suelo también se ve afectada por su composición. La materia orgánica es menos densa que los minerales. Si comparamos algunos suelos podemos verificar fácilmente que su composición

afecta claramente su densidad (Tabla 03).

La densidad aparente permite de cierto modo identificar el grupo textural del suelo, pues Porta et al, citado en Rubio Gutiérrez (2010) muestra la siguiente tabla 04.

### 1.2.3.1 Porosidad

La porosidad del suelo se refiere a los espacios vacíos entre las partículas del mismo; está relacionado directamente con la densidad, puesto que a mayor densidad menor porosidad y viceversa. La porosidad es la relación de la densidad aparente (Dap) entre la densidad real (Dr)<sup>05</sup>, cuyo resultado se expresa en porcentaje.

### 1.2.4 Color del suelo.

El color del suelo es una de las características más fáciles y rápidas de identificar a simple vista. Do-

Tabla 03 Valores de densidad real de los principales materiales y horizontes edáficos. Porta et al, (1999).

Densidades reales		
Minerales de arcilla	2,00 a 2,60	Mg/m <sup>3</sup>
Minerales de cuarzo, feldespato	2,50 a 2,60	Mg/m <sup>3</sup>
Minerales con elementos metálicos	4,90 a 5,30	Mg/m <sup>3</sup>
Horizontes minerales	2,60 a 2,75	Mg/m <sup>3</sup>
Horizontes orgánicos	1,10 a 1,40	Mg/m <sup>3</sup>
Horizontes ricos en metales pesados	2.75	Mg/m <sup>3</sup>
Valor medio para suelos minerales	2.65	Mg/m <sup>3</sup>

Tabla 04 Valores críticos de densidad aparente en función de la textura. Porta et al, (1999).

Textura	Densidad aparente (Mg/m <sup>3</sup> )
Franco arcillosa	1.55
Franco limosa	1.65
Franco arenosa fina	1.80
Arenosa franca fina	1.85

05 La fórmula de porosidad se expresa: %=100- (Dap/Dr) x 100

mínguez Soto et al. (2012) menciona que el color del suelo tiene una estrecha relación con sus componentes. El color del suelo se puede determinar con el método de tablas Munsell o con el método CIELab, que usa un colorímetro para medir el color. Existen diversos autores que dan cierta concentración de algún mineral según sea el color, Castro Méndez (2018), comenta que el color es un indicador del material predominante en la composición del suelo, y como ejemplo manifiesta que: los colores rojos 2.5 R, 7.5 R, y 10 R (Según tabla de Munsell), representan procesos de oxidación del hierro y los colores grises son suelos carentes de cantidades representativas de Fe (hierro). Sánchez & Grisales (2014) explica que el color varía dependiendo del contenido de humedad. Sin embargo, un color rojo indica contenidos de óxidos de hierro y manganeso, el amarillo indica óxidos de hierro hidratado, el blanco y gris demuestran la presencia de cuarzo, yeso y caolín; por último, el

negro y el marrón evidencian la presencia de materia orgánica. También en el mismo apartado, se menciona que el color no solo es producto de su contenido, también es afectado por otros factores; un suelo con colores grisáceos o manchas denota una mala aireación del mismo.

#### 1.2.5 Estructura.

Las partículas de suelo tienen diferentes formas para agruparse y formar agregados, lo que los dota de ciertas estructuras. Sánchez & Grisales (2014) distinguen suelos de estructura esferoidal (agregados redondeados), laminar (agregados en forma de láminas), prismáticas (agregados en forma de prisma), blocosa (agregados en forma de bloque) y granular (agregados en granos).

#### 1.2.6 Permeabilidad.

Según Sánchez & Grisales (2014) la permeabilidad del suelo se relaciona directamente con su estruc-

tura y textura. Pues, sostienen que mientras más fina sea la textura del suelo, más lenta será su permeabilidad. La estructura del suelo se relaciona con la división textural, puesto que las arcillas tienden a apilarse en forma de láminas y las arenas en forma de granos; por lo que respetan la permeabilidad mencionada respecto al tamaño de partícula.

#### 1.2.7 Ph.

El grado de acidez o ph es una característica que mide la concentración de iones hidrógenos en el suelo. En palabras de Sierra B (1982): *“Cualquier solución... está determinada por la concentración de iones hidrógenos y/u oxidrilos (OH-). Se dice que una solución es ácida, cuando la concentración de iones hidrógenos (H+) es mayor que la concentración de oxidrilos (OH-). Cuando una solución presenta mayor concentración de oxidrilos que iones hidrógenos, la solución es alcalina. ‘cuando ambos iones se encuentran en equilibrio (iguales*

*concentraciones) se dice que la solución es neutra y tiene pH = 7” (p.4).*

El ph tiene una escala de entre 0 y 14, en donde los valores menores a 7 se consideran ácidos, y los mayores se consideran alcalinos. El valor de siete como expresa Sierra B. (1982), es el punto en el que existe un equilibrio de iones.

Bermeo et al. (2021) Comenta que las arcillas comunes usualmente tienen valores de ph que van entre 4.5 y 6.5. Recalca que las arcillas altamente ácidas tienden a flocular y no se dispersan con facilidad. Sin embargo, las arcillas altamente alcalinas se disgregan con gran sencillez.

Esta aseveración se ve respaldada por la tabla de relación de ph y capacidad de intercambio catiónico de Buckman y Brady (1969), citada en Bermeo et al (2021). En dicha tabla se observa que a mayor ph menor capacidad de intercambio catiónico y viceversa. La capacidad de intercambio catiónico está relacionada con la propiedad de aglutinar que

### 1.3. Conclusiones

poseen las arcillas. Sin embargo, una alta capacidad de intercambio catiónico perjudica directamente a la plasticidad.

El suelo es un tema de estudio muy complejo. Sin embargo, las características explicadas permiten comprender de mejor manera el comportamiento del mismo. Las arcillas son parte fundamental de la estructura del suelo. Pues, son las responsables de la hidratación y retención de agua; también, debido a sus capacidades físico-químicas, son las encargadas de la cohesión de las partículas. A parte, debido a la diversa configuración de su estructura, no todas las arcillas actúan de la misma forma; algunas son tan estables que al entrar en contacto con el agua casi no se inmutan (en gran medida a su superficie específica) y otras que aumentan su tamaño de forma dramática. Sin embargo, las características enlistadas, como el color o la porosidad, permiten socavar más sobre la vasta naturaleza del suelo.

Finalmente, los datos que se obtengan en cuanto a su clase textural, granulometría, tipo de arcilla, plasticidad, porosidad, estructura y hasta color, permiten intuir la mejor tierra para construcción.

Existen diversos ensayos; tanto empíricos como de laboratorio, que permiten clasificar los suelos.



## Capítulo 2. Marco Histórico

020)



021)



Figura 020 [Fotografía de Almacenes, Templo de Ramses II, Egipto, 1300 a.C.] (2014).

Figura 021 Tierra de distintos lugares para la investigación, Cuenca y Pucará.

2.1. Introducción.

2.1.1. La tierra como material de construcción.

El uso de la tierra como material de construcción está presente desde el inicio de la civilización y es interpretada como arquitectura de la cueva. Una arquitectura sólida (estereotómica<sup>06</sup>) a la que Campo Baeza (2020) define cómo:

*“aquella en que la fuerza de la gravedad se transmite de una manera continua, en un sistema estructural continuo y donde la continuidad constructiva es completa. Es la arquitectura masiva, pétreo, pesante. La que se asienta sobre la tierra como si de ella naciera. Es la arquitectura que busca la luz, que perfora sus muros para que la luz entre en ella.”* (p.2)

El uso de la tierra como material para edificar ha demostrado ser una respuesta pertinente al medio. Por lo general, tenemos obras de este tipo presentes en “casi todos los climas cálido-secos y

templados del mundo” (Minke, 2005, p.13); puesto que, el requerimiento mínimo de materiales y una mano de obra no especializada, son precisamente los que provee el sitio donde se edifica. Esto respalda el enorme valor ambiental que representa la tierra como material para edificar. La construcción en tierra también es un medio de apropiación cultural dentro de un imaginario colectivo que se forma durante el transcurso de los años; genera tradiciones que dan identidad a un pueblo o lugar (Figura 020). Sin embargo, es prudente tomar en cuenta que las edificaciones con tierra presentan algunas limitaciones tales como: la falta de una estandarización en su uso, la contracción del material al secarse, condición autoportante en varios pisos y su poca tolerancia al agua. Por estos motivos, se ha generado sesgos y prejuicios ante este tipo de edificaciones, sin tener en cuenta que esas limita-

06 Estereotómico en términos arquitectónicos; determinado como una de las «categorías» por Gottfried Semper.

022)



023)



024)



Figura 022 Gran Mezquita de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. Semiliki (2006).

Figura 023 Shibam Wadi Hadhramaut Yemen. Gao (1999).

Figura 024 Viviendas vernáculas Chinas (2017). Tulou, China.

ciones tienen soluciones constructivas aplicables en cualquier medio.

La falta de estandarización se debe a la distinta composición en los suelos, explicada en el apartado 1.2. La formación de rocas y depósitos de suelos, al ser afectada por los agentes del medio, siempre va a tener una variación latente con relación al resto de suelos para la construcción (Figura 021). Sin embargo, al conocer las propiedades de la tierra disponible en el medio, se puede aplicar distintos tipos de estabilizaciones y aditivos que permitan el correcto desempeño para la construcción.

Cuando se presenta una excesiva retracción “se puede disminuir reduciendo la cantidad de agua y arcilla, optimizando la composición granulométrica o mediante el empleo de aditivos” (Minke, 2005, p.16). Es imprescindible este control en acabados de edificaciones de tierra. (Figura 022)

La condición de carga por disposición de varios pisos de una edificación, se puede solucionar al com-

binar elementos constructivos, lo que facilitará la transmisión de cargas. Existen sistemas de pórticos y cerchas (pueden ser de madera u otros materiales); así también, se debe considerar sistemas compuestos donde las plantas superiores ganan ligereza mientras que los muros de las bases se ensanchan para aumentar la capacidad portante. (Figura 023) En el caso de la poca tolerancia al agua se puede recurrir a soluciones constructivas como, aleros más generosos, sobrecimientos y veredas perimetrales con una pendiente adecuada para evacuar el agua (Figura 024); también se puede utilizar aditivos impermeabilizantes de la industria o naturales.

De igual manera, se tiene que tomar en cuenta las bondades que brindan estos tipos de edificaciones. Como puede ser: ahorro energético en sistemas de aclimatación interna, menor huella de carbono a nivel global, reutilización del material, menor costo de materiales, disminución del uso de transporte de materia, autoconstrucción con una mano

de obra no especializada, simbiosis con elementos constructivos orgánicos y un mejor estado de salud de los ocupantes. Con respecto a este último atributo Minke (2005), comenta que “la humedad del aire en los interiores ejerce una influencia significativa en el bienestar de los habitantes y la tierra tiene la capacidad de balancear la humedad como ningún otro material.” (p.19).

Ahora bien, para la definición de la tierra para edificar, se tienen varias pruebas (empíricas y de laboratorio) que respaldan y categorizan su uso en las distintas técnicas de construcción.

**2.1.2. Propiedades de la tierra para la construcción.**

Las características de la tierra son inmensas. Sin embargo, se abordan las que podrían incidir de forma más directa en la construcción.

- Cohesividad y alta capacidad aglomerante.- Propiedad ligada a las arcillas (capítulo 1.2.2). Pilar fundamental en la construcción, puesto que permite crear mampuestos de tierra que no se desmoronen.

- Granulometría.- Influye de forma importante en la construcción en tierra. Ya que, según sea la predominancia de grava, arena, limo o arcilla (capítulo 1.2.2), servirá para un sistema constructivo o para otro. Se usa una curva granulométrica para determinar la distribución de partículas. (Figura 025).

- Porosidad.- La porosidad (capítulo 1.2.3.1) permite el equilibrio de humedad del ambiente, pues, en palabras de Minke (2005) “Mientras mayor porosidad, mayor difusión de vapor”. Además, puede promover propiedades acústicas y térmicas.

- Inercia térmica.- Es la capacidad de un material para almacenar calor. Turégano et al (2003) explica que la inercia térmica está relacionada con la densi-

025)

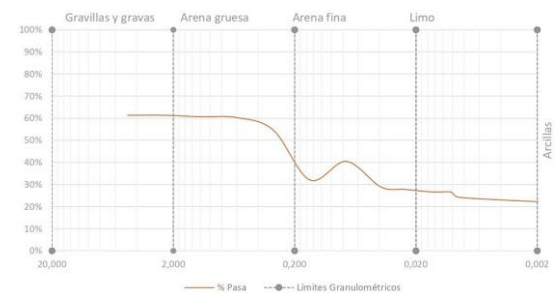


Figura 025 Curva granulométrica.

07 El calor específico es la cantidad de energía que se debe aplicar a una unidad de masa para aumentar su temperatura en 1 °C.

dad (capítulo 1.2.3), calor específico<sup>07</sup> y espesor de un material. Esta propiedad es importante, ya que en climas fríos representa un considerable ahorro energético-ambiental.

- Capacidades mecánicas.- La tierra presenta capacidades portantes y de corte que resultan útiles cuando se contemplan como material de construcción.

- Color.-Nos permite intuir sobre los componentes principales de la tierra y sus posibles ventajas o desventajas.

- Ph.- Orientan hacia una correcta adición de estabilizantes.

**2.1.3. Pruebas empíricas para el uso de tierra para la construcción.**

Las pruebas empíricas<sup>08</sup> permiten determinar la presencia de arcilla en el suelo. Este mineral es in-

dispensable en la construcción con tierra. Minke (2005) menciona algunas pruebas y recalca la imprecisión de otras. Tal es el caso de la prueba de sedimentación, que se cree que permite identificar porcentajes de grava, arena y arcilla. Sin embargo, Minke (2005) expone que tiene un error de hasta el 1700%. Por esta razón, se enlistan las que presentan mayor exactitud.

- Ensayo de olor.- Identificar materia orgánica o humus. La prueba consiste en reconocer un olor a moho. (Minke, 2005)

- Ensayo de mordedura.- Conocer si es arenosa o arcillosa; las arenosas tienen una sensación desagradable de partículas. Por otro lado, las arcillas dan la impresión de ser pegajosas, harinosas o suaves. (2)

- Ensayo de lavado.- Identificar si una muestra es arenosa, limosa o arcillosa. Consiste en usar una muestra húmeda y frotarla en las manos, si las

08 Entiéndase como pruebas que se pueden realizar en campo, que han sido normadas a partir de la experiencia y no necesitan instrumentación especializada.

partículas se sienten claramente, es arenosa. Si la muestra se pega en la mano pero al secarse es fácil limpiarla solo frotándolas entre sí, es limosa. Y por último, si se pega en las manos y se requiere de agua para limpiarlas, es arcillosa. (3)

- Ensayo de corte.- Moldear una muestra en forma de bola y cortar con un cuchillo. Si el corte queda brillante tiene alto contenido de arcilla, pero si el corte es opaco, tiene alto contenido de limo. (4)

- Ensayo de la bola.- Evidencia si un suelo tiene arcilla. Consiste en hacer una bola de 4 cm de diámetro y dejarla caer desde 1.5 m a una superficie plana. Si la bola se aplana levemente y no presenta fisuras o muy pocas, tiene un contenido de arcilla alto. Pero si la bola se disgrega, tiene un contenido de arcilla bajo. Lo ideal es que la bola caiga y presente grietas, pero sin disgregarse, lo que da a entender que tiene un contenido de arcilla aceptable. (5)

- Ensayo de consistencia.- Identificar si los contenidos de arena o arcilla son altos. Se forma una bola

con tierra húmeda de alrededor de 2 a 3 cm de diámetro. Después, con la misma bola se debe hacer un cilindro de 3 mm de diámetro, este cilindro permite identificar la humedad correcta, puesto que se debe usar agua de modo que permita llegar a los 3 mm en el cilindro sin que se rompa. Una vez conseguida, se debe hacer con el cilindro una bola nuevamente. Si no es posible, la muestra es muy arenosa con un bajo contenido de arcilla. Caso contrario, dejarla secar (La norma peruana E80 recomienda dejarla secar por 48 horas) y romper con el dedo pulgar e índice, si la bola se rompe fácil no contiene mucha arcilla, pero si es muy difícil romper, contiene cantidades altas de arcilla. (6)

**2.1.4 Ensayos de laboratorio para identificación de propiedades de la tierra.**

Existen una gran diversidad de ensayos para determinar las propiedades del suelo; las normativas necesarias para los objetivos de la investigación son:

- Muestreo de suelos.- Normativa que permite un correcto muestreo de suelos para analizar sus propiedades: ASTM D421-85.

- Determinación textural de suelos.- Esta normativa usa el tamizado en laboratorio para clasificar desde grava hasta arena fina y la prueba de hidrometría para cuantificar limos, arcillas y hasta coloides: ASTM D422-63.

- Determinación de gravedad específica.- Permite conocer la densidad del suelo en relación con el agua, que es indispensable en el ensayo de hidrómetro para determinar porcentajes de limos y arcillas: ASTM D854.

- Determinación de contenido de humedad.- Permite cuantificar la cantidad de humedad presente en el suelo: ASTM D2216-71.

- Límite líquido.- Normativa que hace uso del método casa grande para determinar el límite líquido: INEN 691.

- Test de Carazas.- Ensayo que permite entender

la naturaleza trifásica de la tierra. Ya que, brinda la posibilidad de analizar los estados hídricos de la tierra: Seco, húmedo, plástico, viscoso y líquido.

- Límite plástico.- Normativa que permite conocer el límite plástico. Además, posibilita sacar el índice de plasticidad, tenacidad, liquidez y consistencia: INEN 692.

- Ensayo proctor normal.- Permite evaluar la mayor densidad que se puede alcanzar en relación con el agua y la compactación: ASTM D-698.

**2.1.5. Normativas para construcción en tierra.**

Alrededor del mundo se utiliza la tierra como material base para edificar. En consecuencia, existen varias guías de construcción en tierra, que incluyen diferentes métodos de obra y selección de suelos que ayudan a hacer más eficiente la edificación. La siguiente tabla (Tabla 05) muestra un compendio de normativas de los diferentes países:

**Tabla 05** Listado de normas y reglamentos encontrados. Cid et al. (2011).

Pais	Norma/Reglamento	ORG	REF	EST	Adobe	BTC	Tapijal	Notas	
Brasil	NBR 8491, 1986.		7					BTC estabilizado con cemento especifica, métodos de ensayo.	
	NBR 8492, 1986.		8						
	NBR 10832, 1989		9						
	NBR 10833, 1989		10			x		Procedimiento fabricación BTC con prensa manual/hidráulica	
	NBR 10834, 1994.		11					Especificaciones y métodos de ensayo de bloques de suelo- cemento	
	NBR 10835, 1994		12						
	NBR 10836, 1994	ABNT	13	x					
	NBR 12023, 1992		14						
	NBR 12024, 1992		15						
	NBR 12025, 1990		16					Métodos de ensayo para suelo-cemento	
	NBR 13554, 1996		17						
	NBR 13555, 1996		18						
	NBR 13553, 1996		19						
	Colombia	NTC 5324, 2004	ICONTEC	20	x		x		Tapia con cemento Estabilizado con cemento
	EEUU	NMAC, 14.7.4, 2004	CID	21		x	x		Reglam. Estatal de Nuevo México.
		ASTM E2392 M-10	ASTM	22		x			
	España	UNE 41410:2008	AENOR	23			x		Primera norma Europea
	Francia	XP P13-901, 2001	AFNOR	24			x		Norma experimental
	India	IS 2110 : 1980	BIS	25	x				Paredes de suelo-cemento
IS 1725 : 1982.		BIS	26	x		x			
IS 13827 : 1993		BIS	27		x			Directrices resistencia a terremotos	
Italia	Ley nº 378, 2004		28			x	x	Leyes para la conservación del patrimonio de tierra	
	L.R. 2/06 2 2006		29			x	x		
Kenya	KS 02-1070: 1999.	KEBS	30	x					
Nigeria	NIS 369:1997.	SON	31	x		x			
	NZS 4297, 1998.		32						
Nueva Zelanda	NZS 4298, 1998.	SNZ	33		x	x	x		
	NZS 4299, 1999.		34						
	NTE E 0.80, 2000	SENCICO	35		x				
Perú	NTP 331.201, 1979		36						
	NTP 331.202, 1979.	INDECOP	37	x	x				
	NTP 331.203, 1979.		38						
	ARS 670, 1996		39						
Regional África	ARS 671, 1996		40						
	ARS 672, 1996		41						
	ARS 673, 1996		42						
	ARS 674, 1996		43						
	ARS 675, 1996		44						
	ARS 676, 1996	ARSO	45				x		
	ARS 677, 1996		46						
	ARS 678, 1996		47						
	ARS 679, 1996		48						
	ARS 680, 1996		49						
	ARS 681, 1996		50						
	ARS 682, 1996		51						
	ARS 683, 1996		52						
	Sri Lanka	SLS 1382-1:2009	SLSI	53	x		x		Bloques de suelo comprimido estabilizados
SLS 1382-2:2009			54						
SLS 1382-3:2009			55						
Túnez	NT 21.33:1996	INNORPI	56			x		En francés	
	NT 21.35:1996		57					En francés	
Turquía	TS 537, 1985.		58	x				En turco	
	TS 2514, 1985.	TSE	59		x				
	TS 2515, 1985.		60						
Zimbabue	SAZS 724, 2001.	SAZ	61				x		

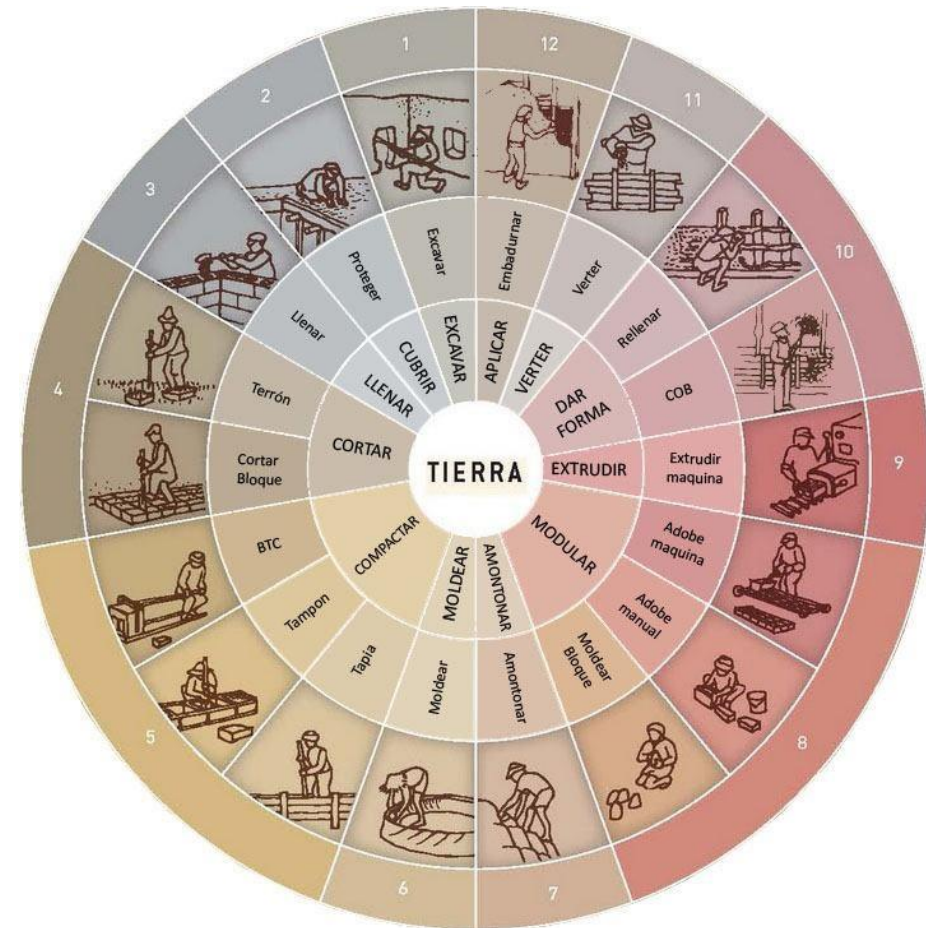


Figura 026 Rueda de técnicas constructivas en tierra. Gatti (2012).

Tabla 06 Plasticidad de técnicas constructivas en tierra. Gatti (2012).

Técnicas	Plasticidad
01. Excavar	Sólido y/o Seco
02. Cubrir	
03. Llenar	
04. Cortar	
05. Compactar	Húmedo
06. Moldear	Plástico
07. Amontonar	
08. Modular	
09. Extrudir	
10. Dar forma	Líquido
11. Vertir	
12. Aplicar	

En el Ecuador el uso de la tierra como material de construcción ha logrado subsistir en 3 técnicas consideradas las más representativas. Dos de ellas, el tapial y el adobe, responden a una categoría esteotómica, donde la tierra funciona como elemento estructural y de cierre. La tercera, el bahareque, contiene fundamentos tectónicos; es una hibridación de las casas vernáculas de caña y la incorporación de la tierra como elemento de cierre para soportar las condiciones de climas más adversos. Dentro de la clasificación de técnicas según Gatti (2012) en la tabla 06 y figura 026 Se muestra la diferencia de estas técnicas con relación a la plasticidad, con base en el porcentaje de humedad necesario para la concepción de las mismas.

09 Las tapialeras son un cofre perimetral, contenedor de la tierra que va a ser compactada; se recomienda que sean resistentes para absorber las cargas de compactación, sin embargo, livianos para poder transportar.

10 Minke (2005) menciona que es preferible utilizar un pisón de dos cabezas con una cuadrada para efectiva compactación en las esquinas y una redondeada del otro lado para el resto de la compactación.

2.2.1. Tapial

Según el INEC (2010) citado por (Samaniego & Samaniego, 2019) en el Ecuador el 10% de viviendas son de tierra. La técnica constructiva del tapial en el país está ligada a la región andina por las bajas temperaturas (Figura 027 y 028), en estos casos, la inercia térmica que presentan los anchos muros ha sido la manera de responder al contexto natural. Por tomar un caso puntual en el Azuay, el porcentaje de viviendas en tierra aumenta a un 23.1% (2). Sin embargo, muchas de estas edificaciones se encuentran en mal estado por distintos agentes. El tapial o tapia es una técnica de construcción en tierra que consiste en el apisonamiento por capas de no más de 15 cm en el interior de las tapialeras<sup>09</sup>, mediante el uso de un pisón<sup>10</sup>; estas dos constituyen las principales herramientas para la ejecución de los muros (Figura 029). En paredes de



027)



028)

Figura 027 Centro de hilado de Morochos. Proyecto CYTED XIV. 1 (1995).

Figura 028 Casa de Tapial en Paute. Jurado & Samaniego (2016).

gran longitud y esquinas, es necesario el refuerzo por medio de contrafuertes. Los vanos que se disponen según el diseño son realizados posterior a la compactación de los muros; pueden ser perforados, raspando o cortando con machete o alambre de púa como sierra (Minke, 2005). Sin embargo, se debe respetar la esbeltez del muro y varias consideraciones tocadas en normas específicas para cada lugar<sup>11</sup>. Con respecto a la composición y granulometría, “los suelos de montaña con alto contenido de grava son más apropiados para las técnicas de barro apisonado (previando que contengan suficiente arcilla)” (Minke, 2005, p.23). El porcentaje granulométrico recomendado según CRATerre et al. (1990) es:

- Gravilla: 0 a 15%
- Arena: 40 a 50%
- Limo: 35 a 20%

- Arcilla: 15 a 25%. (p.25)

El uso de varios tamaños de grano dentro de la mezcla guarda relación con la alta compactabilidad que puede llegar a tener; de modo que, al tener granos de distintas medidas se distribuyen y ocupan en mayor medida los vacíos. Sin embargo, no es la única consideración para la alta compatibilidad, ya que “para obtener la compactación máxima el suelo debe tener una [sic] contenido específico de agua lo que se denomina «contenido óptimo de agua» lo que permite llevar a las partículas a una con [sic] estado más denso.” (Minke, 2005, p.25). De igual manera, como tenemos en la tabla 06 y figura 026 para un óptimo desarrollo del Tapial, necesitamos que la consistencia de la mezcla sea húmeda. Por consiguiente:

*“Sin que se trate de una regla estricta, normalmente los rangos de humedad que se requieren para*

029)

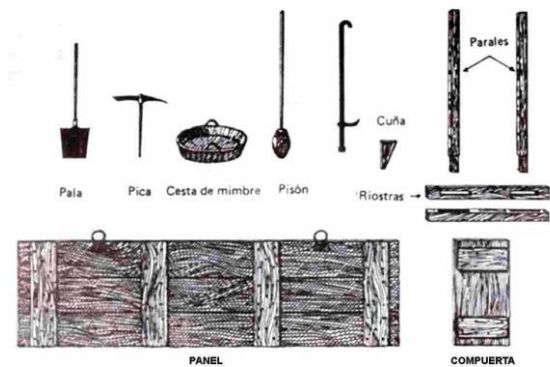


Figura 029 Herramientas para tapial. CRATerre et al. (1990).

<sup>11</sup> En el Ecuador se sigue la normativa E80 para la construcción de Tapial.

la realización de las tapias giran en torno a 10 por ciento. Cantidades menores producen mezclas heterogéneas que se vuelven frágiles con el tiempo, mientras que el exceso de humedad dificulta la compactación y genera alteraciones o deformaciones en las estructuras a lo largo de la fase de secado.” (Guerrero Baca, 2011, p.8)

**2.2.2. Bahareque**

El bahareque o quincha es una técnica de construcción en tierra, un sistema mixto, en el que la mayor parte de los esfuerzos que recibe la tierra son absorbidos por una estructura hecha de material vegetal que le sirve como esqueleto. (Guerrero Baca, 2007, p.195) Esta cualidad con relación a las otras dos técnicas tratadas, permitía que los muros de las edificaciones sean más esbeltos y respondan de mejor manera a los sismos<sup>12</sup>. En la mayoría de los

casos encontramos el bahareque en edificaciones; puras de un piso, o mixtas con una planta baja de adobe o tapial y la segunda planta de bahareque para disminuir las cargas de la planta alta. Dentro de esta técnica en el Ecuador hay variaciones como:

- Bahareque Tradicional.- “La estructura consiste en elementos verticales y horizontales que forman una malla... emplean usualmente elementos verticales de madera combinados con ramas delgadas.” (Minke, 2005, p.99) (Figura 030)
- Bahareque Parado.- La estructura se dispone por elementos principales horizontales (solera y alfeizar) y el entramado secundario es vertical y va desde el piso, respetando los criterios del bahareque tradicional. (PROTERRA et al., 2003) (Figura 031)
- Bahareque Gualluchaqui.- Esta variante aísla totalmente las piezas de madera del suelo mediante el uso de basas de piedra. Respeta los principios

<sup>12</sup> “En el sismo de 1949 que destruyera la ciudad de Ambato, sierra central del Ecuador, gran parte de las viviendas que no colapsaron fueron las de bahareque, de ahí la confianza que se tiene a esta técnica.” (PROTERRA et al., 2003, p.39)



030)



031)

Figura 030 Vivienda antigua de los Saragueros. Archivo INPC et al. (2003).

Figura 031 Casa rural hecha con manufactura nueva, Zulia. Henneberg de León (2015).

032)



033)



**Figura 032** Técnica de bahareque de galluchaqui. Quizhpe (2015).

**Figura 033** Vivienda de adobe

básicos del Bahareque parado, con la adición de arriostramientos diagonales entre pilares y arriostramientos secundarios esquineros que le dan el nombre a esta variable; tiene similitud a la pata de un gallo. (Quizhpe Vacacela, 2016) (Figura 032)

Existen otras variantes con respecto a la adición de tierra, por ejemplo, cuando es vertida al interior de una doble estructura secundaria de carrizos y posterior a ellos se aplica un revestimiento de las fibras; en otros casos se dispone de una única pared de subestructura de fibra en la cual se aplica una capa de tierra de ambos lados. Todas estas variantes mencionadas del bahareque, como se ve en la figura 026, muestra la relación con la humedad para dar forma, aplicar o verter; en las cuales conlleva un estado líquido de la materia. Por otra parte, para el desarrollo de esta técnica “el equipo o herramientas de trabajo son mínimos y en concordancia con una tecnología blanda que permite el trabajo y la autoconstrucción colectiva” (PROTE-

RRA et al., 2003, p.38), pues en algunos casos son solo necesarias las herramientas básicas de carpintería para los componentes de madera y fibras; para el caso de la tierra un bailejo, una llana o solo la mano.

### 2.2.3. Adobe

El adobe es una técnica de construcción en tierra heredada desde la época prehispánica; hasta la actualidad el adobe se utiliza como una técnica que responde al clima de las zonas andinas del Ecuador (Yepez Tambaco, 2012)(Figura 033). Es una de las pocas técnicas en tierra que gracias a la modulación presente en su piezas y sus dimensiones, se entiende como un inicio de prefabricación y un gran salto en el rendimiento, pues “una persona puede elaborar aproximadamente 300 adobes por día, incluyendo la preparación de la mezcla, el transporte y el apilado.” (Minke, 2005, p.73). En esta técnica constructiva es necesario la incorpora-

ción de fibras vegetales que ayuden a contrarrestar el fisuramiento por acción del secado, ya que como se ve en la figura 026, la relación con la humedad para modular las piezas conlleva un estado plástico. De igual manera, hay que tomar en cuenta la composición granulométrica que mejor responda a este sistema, con respecto a ello Minke (2005) “señala 14% de arcilla, 22% limo, 62% arena y 2% grava y no muestra fisuras de retracción al secarse.”(p.76). Así también, el porcentaje granulométrico recomendado según CRATerre et al. (1990) es:

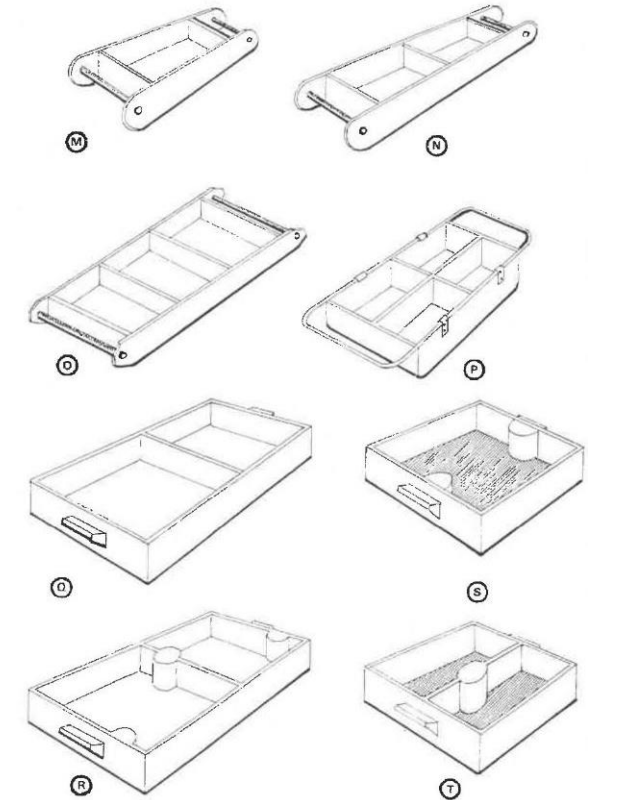
- Arena: 55 a 75%
- Limo: 10 a 28%
- Arcilla: 15 a 18%. (p.25)
- Contenido de materia orgánica inferior al 3%. (p.143)

Para el desarrollo de las piezas el equipo necesario es accesible, ya sea manual o por medio de maqui-

<sup>13</sup> El término que tradicionalmente se conoce como podrido es la hidratación previa; “tiene como objetivo saturar de agua las partículas arcillosas y deshacer todos los grumos de tierra. Para fabricar los adobes se deja reposar el suelo mojado durante 24 horas” (CRATerre et al., 1990, p.144).

naria que preñe, contempla el uso de cofres para las piezas deseadas (Figura 034), donde se coloca tierra luego del proceso de mezclado y en algunos casos de podrido<sup>13</sup>.

034)



**Figura 034** Tipos de adoberas. CRATerre et al. (1990).

2.3. Avance de técnicas vernáculas de construcción en tierra

El progreso en la construcción con tierra está en camino a la sistematización y mejoramiento de las técnicas tradicionales a partir del suelo y la simbiosis con materiales contemporáneos. Este tipo de construcciones son una respuesta a la necesidad de vivienda a nivel mundial<sup>14</sup>, pues ésta ha ido en aumento, lo cual demanda una solución simple pero de calidad. A pesar de existir muchas variantes y sistemas hoy en día, este apartado se enfoca en la evolución de las 3 técnicas vernáculas de tierra encontradas en el Ecuador (Tapial, Bahareque y Adobe) y su desarrollo a nivel global.

2.3.1. Tapial

La innovación presente dentro de la técnica de Tapial, abarca variantes en aspectos de producción (in situ y prefabricada); estabilización por aditivos o por núcleos estructurales, entre los más utilizados.

- Estabilización mediante núcleos estructurales.- Una de las innovaciones presentes en estos casos es la Biblioteca Sublette County , Pinedale, Wyoming, EE. UU (Figura 035) cuenta con un sistema sandwich, donde se usan barras de acero corrugado que fijan un núcleo de poliestireno. Esta técnica eleva la capacidad de transmitancia térmica<sup>15</sup> del propio material hasta 0.03 W/m<sup>2</sup> °C (Bestraten et al., 2011) (Tabla 07).

Otro ejemplo con elementos estructurales de menor sección es el caso de la Tapia Post-tensada, presente en “Back 40” House, USA (Figura 036). Donde los muros disponen de varillas roscadas que atraviesan verticalmente la tapia, éstas van desde el ciemiento hasta la solera de cierre anclando el techo. Este ejemplo guarda similitud a la post-tensión; sin embargo:

“Para realizar una tapia postensada hay que in-

14 “Ecuador no es la excepción y más de 2 millones de hogares sufren déficit habitacional, afectando al 60% de los hogares de menores ingresos. Esta cifra aumenta en dos puntos porcentuales si se trata de hogares con jefatura femenina (78%); y en ocho puntos para los hogares que cuentan con tres o más, menores o mayores de edad, a su cargo (84%).” (Acosta & Peciña, 2022)



Figura 035 Muros de tapial en la Biblioteca Sublette County, Pinedale, Wyoming, EE. UU. Swift (s.f)  
 Figura 036 [Fotografía “Back 40” House, USA] (s.f).

sertar en el alma del muro unos tubos de plástico común y corriente, por los cuales corren hilos de acero. Luego, se corona el muro con un tablón que cumple la función de una cadena perimetral; el hilo pasa a través del tablón con una golilla y una vez que el muro está terminado se le da tensión a través de esta varilla de acero.” (Gatti, 2012, p.51)(Figura 037)

Existen variantes de núcleos estructurales naturales en proyectos de investigación; el diseño para una vivienda antisísmica de tapial reforzado, Chile, 2001 (del río Muñoz & Sainz Esteban, 2011); Prototipo para una vivienda de bajo costo con muros de tapial reforzado con bambú, Guatemala, 1978 (Minke, 2005)(Figura 038 y Figura 039). Los cuales son el punto de partida de la innovación con adición de núcleos estructurales de sección considerable. Otra variante de núcleos estructurales es el caso de

15 Transmitancia térmica representada por U; mientras menor es el valor de U, el material o el conjunto de materiales del elemento de cierre tiene un mayor grado de capacidad aislante.

Tabla 07 Conductividad de los materiales. Bestraten et al. (2011).

Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad (W/mk)
Tapial	1400 - 2000	0,6 - 1,6
BTC	1700	0.81
Adobe	1200	0.46
Hormigón Armado	2300 - 2500	2.3
Hormigón en masa in situ	2000 - 2300	1.65
Bloque de hormigón convencional	860	0.91
Ladrillo macizo	2170	1.04
Ladrillo hueco	670	0.22

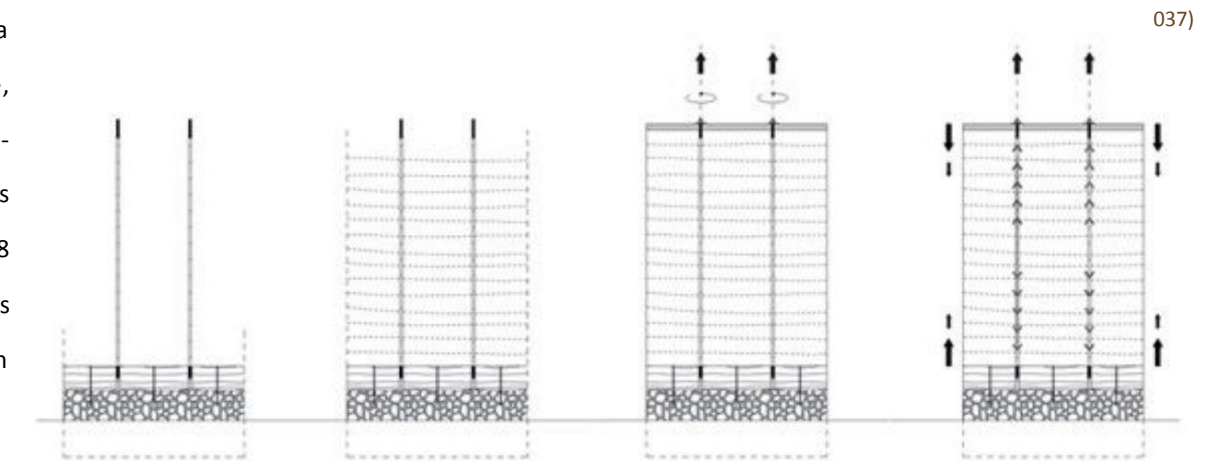
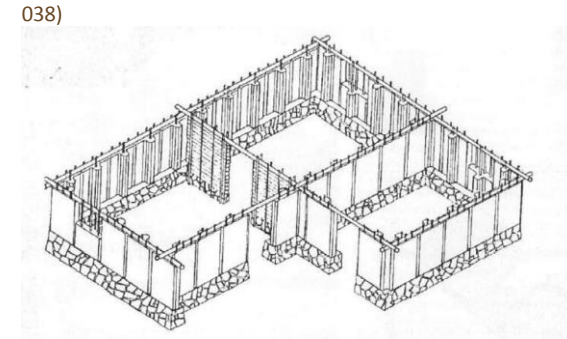


Figura 037 [Diagrama muro de tapial post-tensado] (s.f).



**Figuras 038) y 039)** Prototipo para una vivienda de bajo costo con muros de tapial reforzados con bambú. Minke (2005)  
**Figura 040)** Piscina Municipal de Toro, Zamora, España. Fernández (s.f)



**Figuras 041)** Casa Rauch. Schlins, Austria. **042)** Escalera de casa Rauch. Bühler (s.f).  
**Figura 043)** [Fotografía de Jardín de infancia Baya, Sudáfrica] (s.f).

la Piscina del Toro, España (Figura 040) al igual que la Casa Rauch, Austria (Figura 041) donde existe la incorporación de elementos estructurales de mayor sección (tubos acero galvanizado y en otros casos elementos estructurales de hormigón armado) embebidos dentro de los muros y anclados directamente a la cimentación; los cuales cumplen en mayor porcentaje el papel estructural de la edificación.

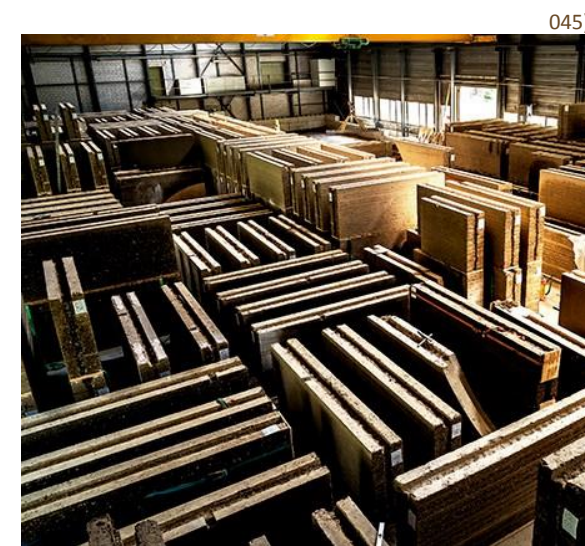
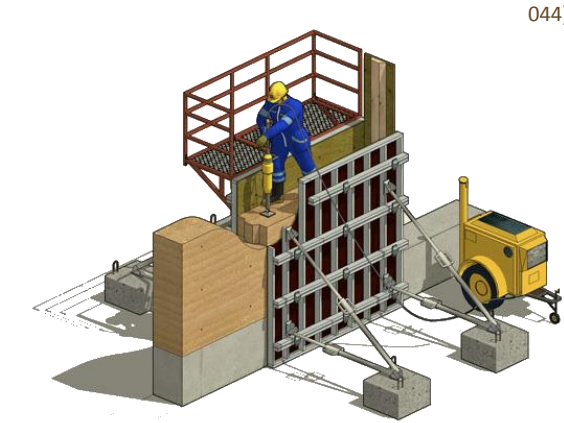
- La estabilización mediante aditivos.- Los aditivos incorporados en la mayoría de obras, son el cemento en rangos controlados de hasta un 20%, al igual que la adición de la cal en porcentajes de hasta un 10%. La Casa Rauch, Austria (Figura 042), utiliza la tierra al máximo, “rechazando el uso de cemento excepto en ocasiones muy puntuales, sustituyéndolo emplea mortero de toba y cal” (Lobejon Yravedra, 2020, p.39); a pesar de ello, “cada escalón está prefabricado en una mezcla de tierra estabilizada con cemento y áridos coloreados”(2). Ya que

la adición de este cementante brinda una mayor resistencia mecánica. Por otra parte, la consideración del alivianamiento de un tapial en estructuras mayores, se realiza mediante la sustitución de un volumen de la tapia por materiales de menor densidad<sup>16</sup>; esto ayudará en gran medida a evitar el colapso por sobrecarga del propio material. (Cárdenas Alvarez & Sarmiento Avilés, 2017) (Figura 043).

- Mejora de productividad en el sitio.- Se logra, gracias a la incorporación de maquinaria que fortalece el rendimiento/hora de la ejecución de esta técnica (pisones neumáticos)(Figura 044).

- Prefabricación (Figura 045).- Los muros construidos de manera aislada y montados en obra, en la mayoría de los casos necesitan de un sistema estructural de apoyo, que los contenga y distribuya la carga. Sin embargo, hay variantes del panel según las necesidades de la obra. Este tipo de muro de-

<sup>16</sup> Materiales como: poliestireno expandido (EPS), policloruro de vinilo (PVC), Cabuya y aditivo Sika poro plus



**Figura 044)** Apisonamiento mecánico de tapial. Saint-Gervais-sous-Meymont. Parc naturel régional Livradois-Forez (s.f).  
**Figura 045)** Prefabricación en el edificio Ricola Kräuterzentrum (Herb Center), Laufen, Suiza. Iwan (2010-2014).



**Figura 046)** [Fotografía de Imprinta Gugler](2019). Tierra Award.  
**Figura 047)** Edificio Ricola Kräuterzentrum (Herb Center). Laufen, Suiza. Iwan (2014).

pende de montaje con maquinaria pesada y generalmente alivianamientos en su interior.

Por ejemplo, las Oficinas imprenta Gugler print&media, Australia (Figura 046) presenta paneles de tapia prefabricada hueca (para alivianamiento e instalaciones) que aportan arriostamiento a la estructura principal de pilares de madera.(Figura 047)

**2.3.2. Quincha**

La quincha metálica (Figura 048) con su predecesor el bahareque o quincha, permite configuraciones espaciales únicas que no se podían alcanzar de manera tradicional (volados, paredes inclinadas, una basta prefabricación, entre otras). “El sistema da como resultado una estructura flexible y ligera de peso que es inherentemente resistentes [sic] a los terremotos” (Gatti, 2012, p.72) y presenta variantes como:

- Quincha Metálica.- “Esta técnica consiste en pegar de forma manual o

*mecánica, en una red de acero, una masa de tierra y paja en un estado entre plástico y líquido... una vez recubierto toda la superficie se llena con abundante paja los espacios y se cierra con un tablero.” (Gatti, 2012, p.73) (Figura 050)*

- Quincha Metálica (Tecnobarro).- Técnica desarrollada por el arquitecto chileno Marcelo Cortés, y que a diferencia de la tradicional, la red entretejida es generada por una armadura de acero corrugado; su relleno es una mezcla “de sofisticación tecnológica de barro... que incluye cal para controlar la expansión volumétrica de la arcilla y aumentar la impermeabilidad del agua.” (Gatti, 2012, p.73) (Figura 051).

- Tierra alivianada o vertida.- Esta variante radica en “verter de forma manual, en una jaula de acero, una masa de tierra y paja en un estado líquido. La mezcla tiene que llenar la jaula y finalmente se le pone un acabado de 2 cm exterior/interior.” (Gatti, 2012, p.73) (Figura 052)

048)



049)



Figura 048 Casa Munita Gonzalez. García (2010).  
Figura 049 Panel de bahareque prefabricado con aislante de viruta y pucón. Astudillo & Vacacela (2015).

Por otro lado, la evolución del bahareque se evidencia en un sistema plataforma configurado con elementos de cierre prefabricados a partir de madera y tierra (tableros) o en algunos casos paneles autoportantes. Una ventaja significativa frente a sistemas como el tapial prefabricado es la ausencia de una maquinaria pesada para su montaje, además de la adición de distintos materiales de climatización. (Figura 049)

**2.3.3. Adobe**

En el caso particular del adobe, la técnica se mantiene en gran parte, y se incorporan materiales contemporáneos como aditivos y elementos estructurales de refuerzo.

- Prototipo de adobe armado.- El adobe por su naturaleza estereotómica (pesante) tienen sus ventajas con respecto al confort; sin embargo, debido a su robustez y falta de flexibilidad, es sumamente vulnerable durante un sismo. Por tal motivo,



050)



051)



052)

Figuras 050) Quincha metálica, Proceso constructivo. 051) Quincha metálica (Tecnobarro), Proceso constructivo. 052) Tierra alivianada o Vertida, Proceso constructivo. Gatti (2012).

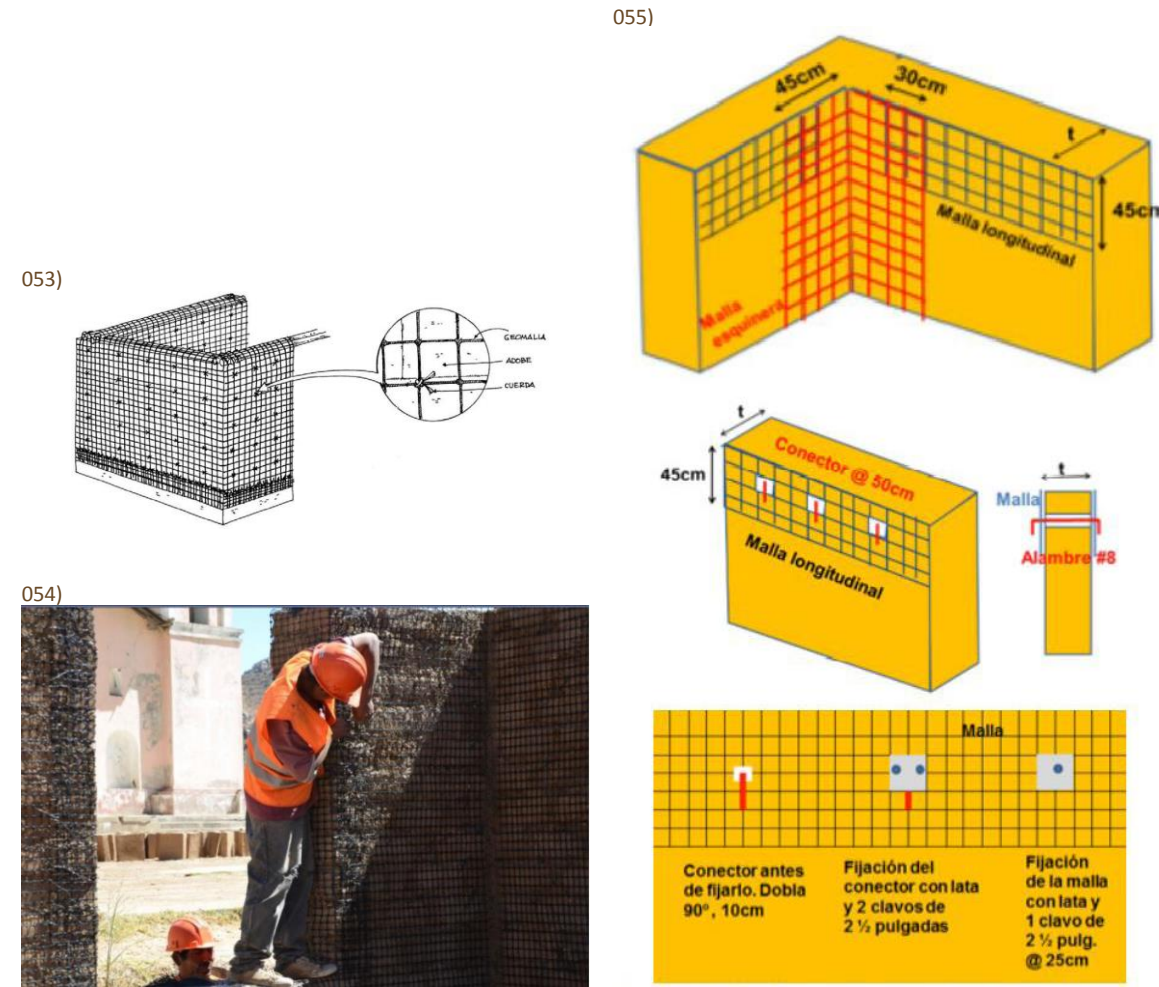


Figura 053 Fijación de Geomallas a pared. Blondet et al. (2010).  
 Figura 054 Fijación de Geomallas a pared. Quispe et al. (2010).  
 Figura 055 Malla longitudinal, traslape con malla esquinera, conector y fijación de mallas. San Bartolomé & Quiun (2015).

ha sido pertinente el refuerzo mediante geomalla (exoesqueleto contenedor) (Figuras 053 y 054), que asegura las piezas contra un fallo o colapso total. (Gatti, 2012).

Dentro de esta clasificatoria también están presentes los refuerzos de malla electrosoldada, los cuales son colocados en ambos sentidos, con el propósito de simular un comportamiento estructural de vigas y columnas en las zonas más vulnerables de la edificación (Figura 055). Los refuerzos tienen que traslaparse entre sí, y de igual manera fijarse al muro o interconectarse con los refuerzos de la cara posterior (Figura 056); debe considerarse también que puede emplearse más de una capa de malla de no ser suficiente. (San Bartolomé & Quiun, 2015).

- Adobe con núcleo estructural.- Al igual que en el tapial, tenemos la incorporación de elementos estructurales de hormigón o acero para la distribución de cargas, lo cual deja al adobe como mampuesto rigidizador y elemento de cierre. En el

edificio para la Asociación Yeredemé de apoyo a jóvenes madres solteras, Taikiré, Mopti, Mali (Figura 057) “se construyó un zuncho de hormigón armado en las cabezas de los muros. Este zuncho permite abrir grandes huecos en las fachadas a [sic] patio, y distribuye la carga de las vigas metálicas que disminuyen la luz del forjado.” (Bestraten et al., 2011, p.16) (Figura 058)

Otro sistema tipo malla y que a su vez tiene su configuración de núcleo estructural es el Adobe antisísmico o Sistema Allwall (Figura 059). Consiste en múltiples armaduras tipo cercha que se configuran en los tres planos interconectados y aseguran la correcta distribución de cargas al propiciar un relleno de adobes entre ellos, lo cual los dota de la suficiente rigidez. (Gatti, 2012)

- Adobes estabilizados.- Al igual que en el tapial, las adiciones más comunes son porcentajes de hormigón y cal que oscilan rangos de 5 hasta 15 %. Sin embargo, también se está experimentando con

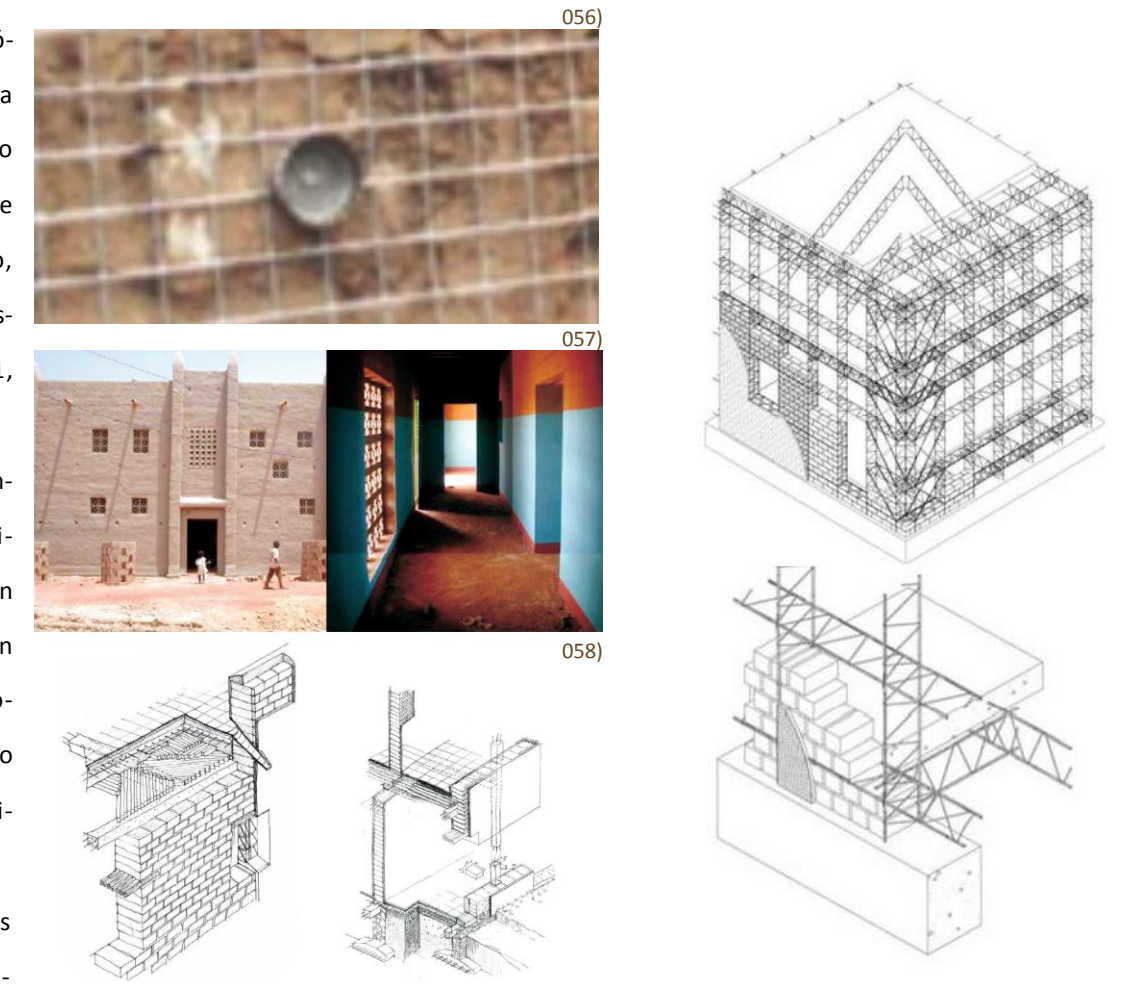


Figura 056 Instalación de la malla y fijación con clavo y chapa. San Bartolomé & Quiun (2015).  
 Figura 057 Muros de adobe y celosías en el edificio para la asociación Yeredemé, Mopti, Mali. Consuegra (s.f).  
 Figura 058 Detalles constructivos de la galería y la cubierta del edificio para la asociación Yeredemé. Botella (s.f).  
 Figura 059 Esquema de armado con cerchas. Orta et al. (2011).

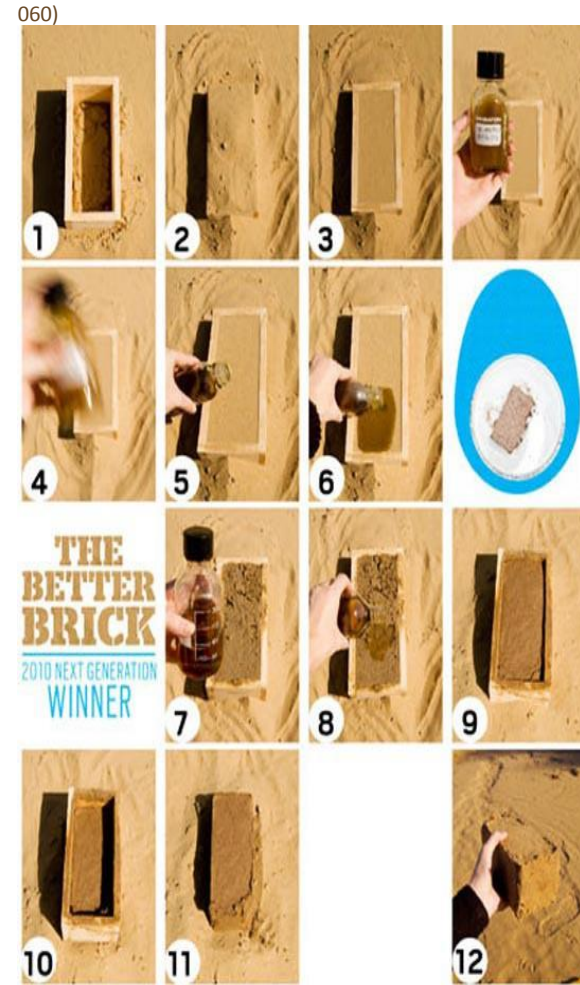


Figura 060 Ladrillos Bio Fabricados. Krieg (2016).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas



Figura 063 Construcción de la mitad inferior del módulo con refuerzo de PVC. Villon & Castillo (2013).

bacterias (Figura 060) que actúan como catalizadores de “endurecimiento del adobe sin ninguna fase de secado y preparación de la mezcla [sic] de tierra... Este proyecto ahora investiga... producir los ladrillos de manera digital gracias a la ayuda de un plotter.” (Gatti, 2012, p.93)

2.3.4. BTC

TERRAVERSA (2021) define al BTC como el descendiente del Adobe. Sin embargo, “las primeras máquinas para comprimir tierra y mejorar la calidad del adobe datan de 1800’s en Francia, Francois Cointeraux, un defensor del uso del tapial en la construcción (conocido en ese momento en Francia como ‘nuevo pise’) diseñó el ‘crecise’, una máquina derivada de un lagar<sup>17</sup> que efectivamente creaba pequeños bloques de ‘tapial’, en otras palabras, bloques de tierra comprimida.”(TERRAVERSA,

17 Entiéndase como sitio o herramienta donde se prensa la aceituna, manzana o uva para sacar el aceite o sidra.

2021) Por estas razones se asume como la conjunción de técnicas (tapial y adobe), que dan como resultado los «Bloques de Tierra Comprimidos»; tradicionalmente se somete al material a una presión constante mediante el uso de una prensa (manual o hidráulica) obteniendo piezas machihembradas o huecas (según diseño<sup>18</sup>). Las normas<sup>19</sup> brindan requerimientos puntuales de donde partir como:

- Rango de granulometría (figura 061).
- Rango de plasticidad (figura 062).
- Uso de estabilizantes.
- Dimensión de fabricación.

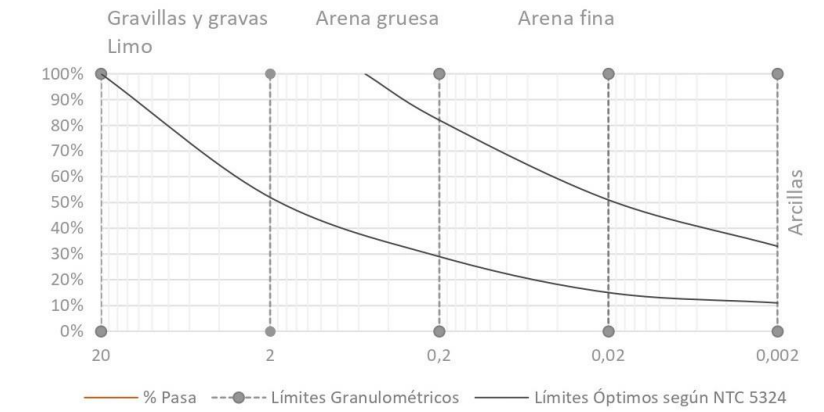
El BTC presenta variantes como:

- BTC con núcleo estructural.- La innovación en este campo parte de los núcleos naturales(bambú) de sección menor y la posibilidad de su reemplazo por elementos de la industria, como las tuberías PVC (Figura 063) las cuales tienen un comportamiento

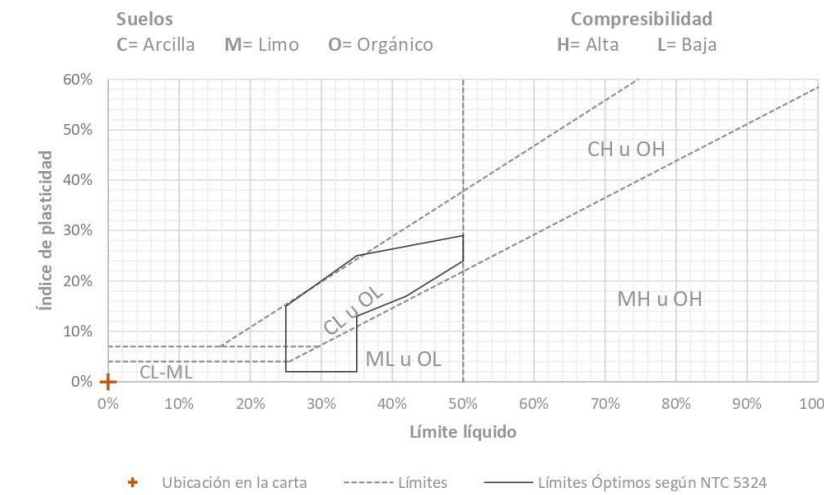
18 Los BTC generalmente suelen oscilar alrededor de 200mm x 100mm x 50 mm.

19 No existe normas de BTC propias del país por lo cual se toman como referencia a los dos contextos más próximos del Ecuador (Normas Colombianas y Normas Brasileñas)

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas



061)



062)

Figura 061 Diagrama de granulometría.  
Figura 062 Diagrama de plasticidad.



Figura 064 Visualización de paneles colocados de forma vertical. Abad et al. (2012).

Figura 065 Investigación de BTC con lana y algas. Fajardo (2011).

Figura 066 BTC con cáñamo. CANNABRIC (2009).

Figura 067 Probetas ensayadas a la compresión. Galíndez (2007).



estructural muy similar al bambú, y a su vez superan al refuerzo de malla electrosoldada. (Blondet et al., 2011).

- BTC como paneles de cierre.- Abad et al (2012) en su investigación explora formatos muy esbeltos (30 cm x 50 cm x 3 cm) y con un alto nivel de tecnificación, que da como resultado un panel que “puede ser usado para la conformación de elementos livianos (tabiques - cielorrasos) y revestimientos de paredes y pisos, debido a su dureza, formato, durabilidad, sección y trabajabilidad.” (p. 167) (Figura 064).

- BTC con adiciones.- Uno de los adicionantes más utilizados es el cemento, razón por la cual ha llegado a formar parte de las normativas; y ser un componente casi obligatorio para la estabilización de la pieza. Sin embargo, al ser un material de alto costo ambiental, encontramos en la cal una opción viable para la estabilización. De igual manera, existen varios aditivos (naturales y sintéticos, revisar: Anexos, Aditivos) que elevan el comportamiento

de las piezas de BTC. Una de las adiciones más inusuales y que está en proceso de experimentación por parte de la universidad de Sevilla y la universidad Strathclyde en Reino Unido es el BTC de tierra con lana y algas marinas<sup>20</sup> (Figura 065); el uso de la alga como polímero natural (biodegradable) sumado a la capacidad térmica presentada en la lana de oveja, generan un producto 37% más fuerte que BTC estabilizados químicamente(2). Otro caso, es el uso de fibras de cáñamo por la empresa Cannabric (Figura 066), la cual “aprovecha las características aislantes del cáñamo (con una conductividad térmica de 0.048W/m<sup>3</sup>K)... otra gran ventaja del cáñamo es que no está atacado por parásitos (ausencia de nutrientes en su tallo)” (Gatti, 2012, p.84)

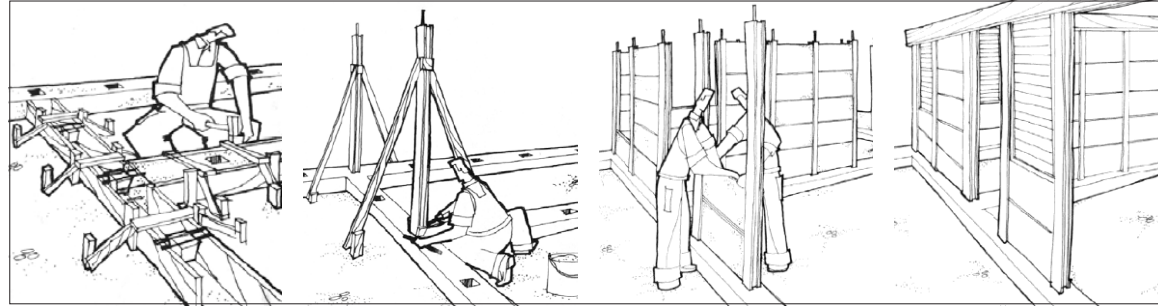
- BTC sin adiciones.- Con respecto a la eliminación del cemento como estabilizante, Galíndez (2007) plantea que a mayor presión y plasticidad el mam-

puesto adquiere mayor resistencia a la compresión. Propone tres presiones, 4 kg/cm<sup>2</sup>, 6 kg/cm<sup>2</sup> y 8 kg/cm<sup>2</sup>; en suelos que contengan el 23.19 % de finos (pasen el tamiz 0.075mm). Lo cual permite acercarse a las resistencias adquiridas por el cemento. (Figura 067)

<sup>20</sup> “Algas pardas de la familia de las feofíceas constituyen la materia prima principal en la producción de alginato” (Gatti, 2012, p.85) que se utiliza en BTC

2.4. Sistema Sandino y su adaptación a Ecuador

068)



069)



El Sistema Sandino "es un sistema constructivo prefabricado de baja escala, desarrollado por el Arq. José Novoa, en Cuba, en la década de los 50's, se utilizó mayormente en la construcción de viviendas populares, por su bajo costo, simpleza y rapidez de construcción.

El sistema se basa en el ensamblaje de elementos de bajo peso, lo suficiente para ser manipulados por una o dos personas, el cual oscila alrededor de los 65kg, se compone de columnas y paneles prefabricados, su modulo es de 1.04m entre ejes de columnas, estos elementos se ensamblan de manera sencilla." (Farfán & López, 2023, p.40) (Figura 068). Por consiguiente, Farfán y López (2023) adaptan este sistema a Ecuador explicando que "se plantean columnas principales y secundarias que funcionan como rieles para colocar el panel prefabricado de tierra comprimida, las columnas principales de conforman de 4 bambus unidos por medio de pernos, esta estructura tiene una separación entre

Figura 068 Proceso constructivo de sistema Sandino. Cabrera (2011).

Figura 069 Propuesta de vivienda social con sistema Sandino adaptado a Ecuador. Farfán & López (2023).

070)

ejes de 3.72 m y las columnas secundarias, las cuales se conforman de 2 bambus separadas 90 cm y 60 cm según el sentido de la modulación. Todos los elementos estructurales... se conforman a partir de elementos de bambú con un diámetro de 7 cm y se conectan a través de pernos y abrazaderas metálicas lo que permite un... desensamblaje del sistema para posteriores cambios que se puedan dar. (p.104) (Figura 069)

Así también, el sistema de muros "se fundamentan en el principio del sistema sandino, siendo las columnas los rieles en las que se coloca el panel y posteriormente estas se cierran generando presión, esto asegura el panel a la estructura." (2). (Figura 070)

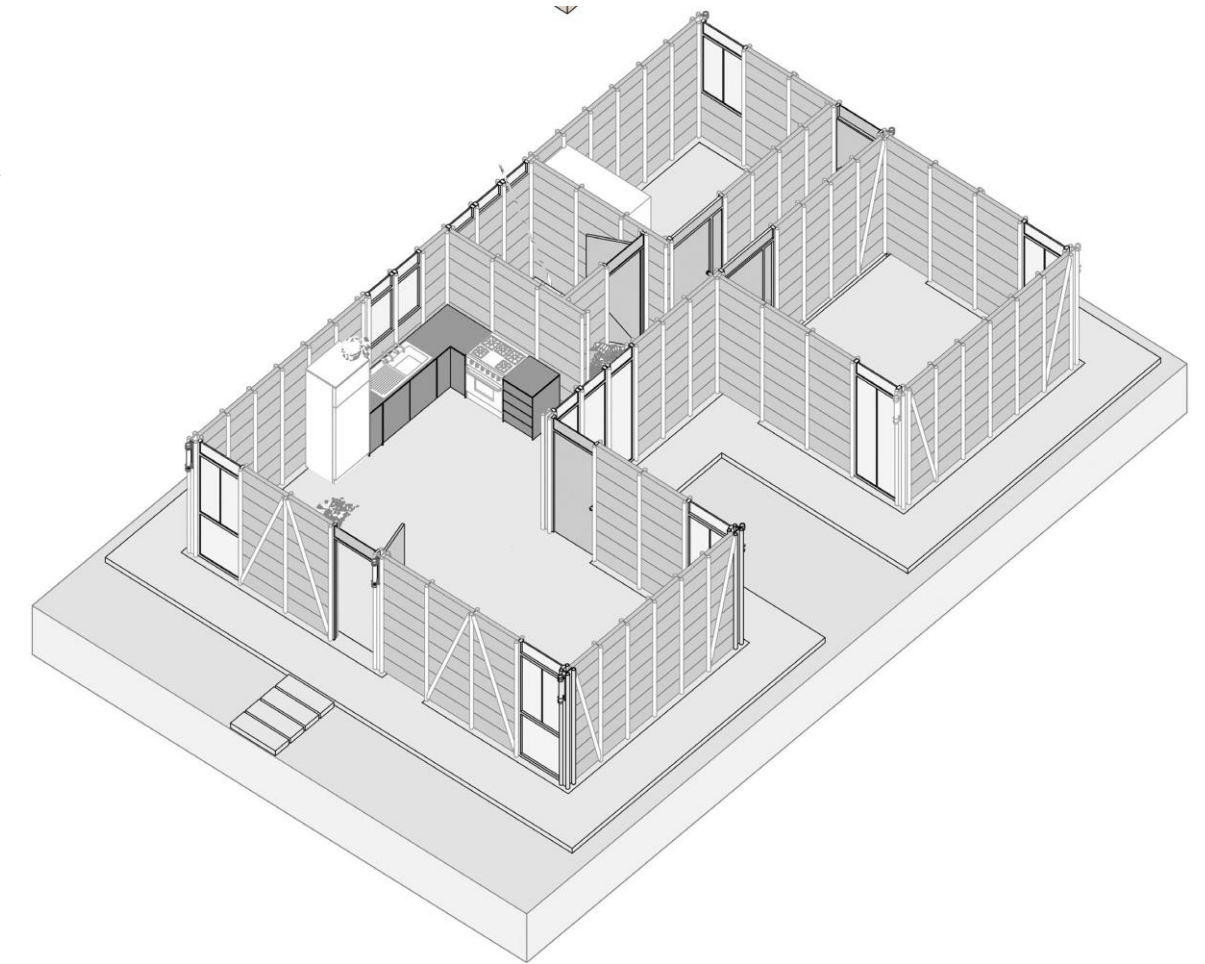


Figura 070 Propuesta de vivienda social con sistema Sandino adaptado a Ecuador, Axonometría. Farfán & López (2023).

### 2.5. Conclusiones

Las normativas de BTC generalmente se enfocan en piezas con medidas estándar y el uso del cemento como estabilizante. Se debería experimentar con dimensiones más grandes y esbeltas, al igual que distintos aditivos que permitan discernir diferentes resultados, usos y alivianamientos de bajo impacto ambiental. De igual manera, hay que tener en consideración que la estabilización está ligada al tipo de arcilla que contenga el suelo. Pues, Mitchell y Soga (2005) comentan dicho comportamiento en el apartado de respuesta de los silicatos a tratamientos diferenciadores. Por ello, investigaciones como la de Cabrera et al (2020) que experimenta BTC con estabilizantes de cal y cemento en donde el aumento de cal parece no tener efectos representativos. O, la publicación del Centro de Investigación Hábitat y Energía y Instituto de Arte Americano FADU – UBA (2012), en donde se evidencia que agregar cal puede igualar o superar los resultados obtenidos con la incorporación de cemento.



## Capítulo 3. Caracterización física y mecánica del material

**3.1. Introducción**

En este apartado se trabaja la parte experimental de la investigación, para ello se partirá de precedentes teóricos netamente enfocados en BTC que permitan indagar una base sólida para comenzar. También, es importante mencionar el tema de estabilizantes y aglutinantes para BTC, puesto que las normativas que regulan la fabricación de BTC como la brasileña, colombiana e inclusive la española no profundizan sobre el tema.

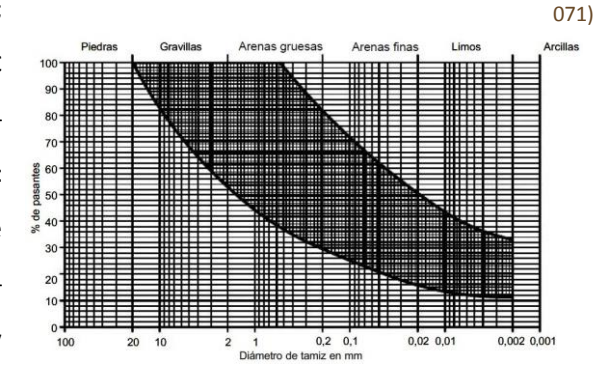
Sin embargo, estas normativas brindan parámetros que debe cumplir la tierra para poder ser usada en BTC. Las pruebas empíricas de tierra para determinar contenidos de arcilla (capítulo 3.4.1) permiten una rápida selección de suelos que cumplan o se acerquen a los parámetros establecidos por las normas. Sin embargo, las de laboratorio son indispensables al momento de obtener datos ciertos que orienten de forma correcta hacia dicha selección (capítulo 3.4.2).

La creación de paneles de BTC se dirige, pero no se

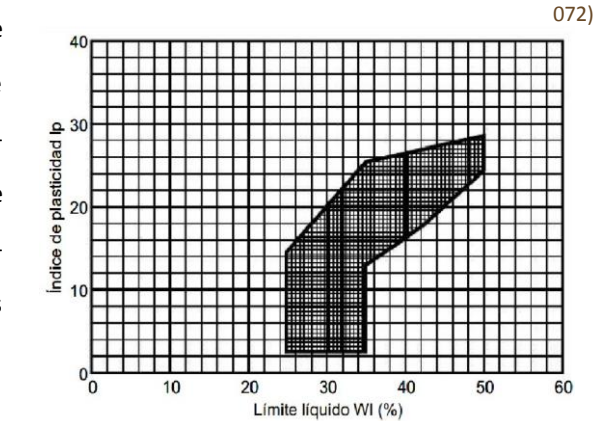
limita hacia una adaptabilidad al sistema sandino trabajado por Farfán y Lopez (2023). Se proponen algunas variedades de panel con diferentes agregados, de modo que permitan escoger la opción más pertinente en ámbitos de costo beneficio.

**3.2. Normativas de construcción en BTC.**

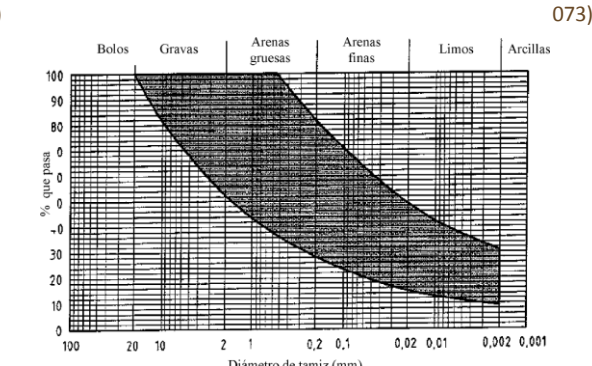
Ecuador no dispone de normativas para la construcción en tierra de BTC. Por lo tanto, es importante abordar normativas cercanas al contexto que toquen el tema de bloques de tierra comprimidos; tales como las de Brasil (NBR), la colombiana NTC 5324 y por último la española UNE 4141. Los detalles del tipo de suelo que se necesita usar como: granulometría, fabricación y los resultados que se deben obtener se cotejan en la tabla 08. Los diagramas de granulometría, índice de plasticidad y requisitos mínimos de resistencia a compresión de la normativa colombiana NTC 5324 serán las que guíen en la selección de suelos de esta investigación debido a su cercanía geográfica al contexto de Ecuador; además de compartir datos con la normativa española lo que permite complementar datos que favorezcan la investigación. Por otra parte, las normativas brasileñas dan criterios bastante claros de fabricación y curado de BTC, por lo que se las eligen para guiar este apartado.



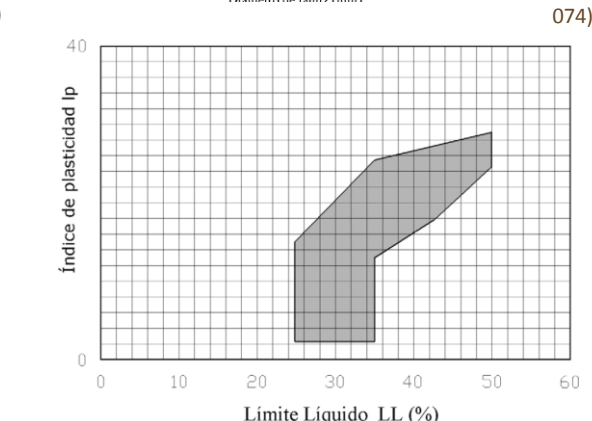
071)



072)



073)



074)

Figura 071 Rango de diagrama de textura de suelos. ICONTEC (2004).  
 Figura 072 Rango de diagrama de plasticidad de suelos. ICONTEC (2004).  
 Figura 073 Rango de diagrama de texturas de tierras. UNE (2008).  
 Figura 074 Rango de diagrama de plasticidad de tierras. UNE (2008).

Tabla 08 Resumen de Normativas para BTC

NBR 10832 (1989)	NBR 8491 (1986)	NBR 8492 (1986)	NTC 5324 (2004)	UNE 41410 (2008)
<b>Fabricación</b>				
6 días de moldura.	14 días de curado	-	-	-
7 días de curado.	-	-	-	-
14 días para aplicar a construcción.	-	-	-	-
85% de volumen total.	-	-	-	-
<b>Dimensiones</b>				
Según NBR 8491	200 x 100 x 50 mm. 240 x 120 x 70 mm.	-	140 x 95 x 295 mm. 220 x 95 x 220 mm.	295 x 140 x 95 mm. 220 x 220 x 95 mm. 300 x 145 x 105 mm.
<b>Tierra</b>				
Tamaño máximo de 4,8 mm.	-	-		
Límite líquido ≤ 45%.	-	-		
Índice de plasticidad ≤ 18%.	-	-	Figuras 071 y 072	Figuras 073 y 074
Tamaño máximo de 4,8 mm.	-	-		
Del 10% al 15% debe tener 0,075 mm.	-	-		
<b>Resistencia a compresión seca</b>				
-	En mampostería: 20 Kg/cm <sup>2</sup> .	-	2 Mpa (20,38 Kg/cm <sup>2</sup> ).	1.3 Mpa (13,26 Kg/cm <sup>2</sup> ).
-	En mampuesto: 17 Kg/cm <sup>2</sup> .	-	4 Mpa (40,79 Kg/cm <sup>2</sup> ).	3 Mpa (30,59 Kg/cm <sup>2</sup> ).
-	-	-	6 Mpa (61,18 Kg/cm <sup>2</sup> ).	5 Mpa (50,99 Kg/cm <sup>2</sup> ).
<b>Probetas para ensayo</b>				
-	-	-	Carga uniforme de 50 Kfs/s.	-
3 muestras.	-	7 muestras.	5 muestras	2 muestras.

3.3. Estabilizantes y aditivos para BTC.

La adición de estabilizantes y aditivos a mezclas en la construcción con tierra son en la mayoría de los casos una parte importante para el desarrollo competitivo con respecto a técnicas contemporáneas (ladrillo, bloque, steel frame, wood frame, entre otros.). Sin embargo, “al estabilizar la tierra aumenta el costo de la producción de los bloques y adobes, además de que la tierra estabilizada no se puede reciclar” (Michenry, 2005, p.89). Por tal motivo, la adición de estos elementos deben tomar en cuenta la naturaleza<sup>21</sup> del producto, y su impacto de manera global. En «Anexos, Aditivos» se exponen mediante tablas los aditivos y estabilizantes más utilizados para la construcción en tierra; se abarca una parte de sus propiedades y usos, con sus respectivas clasificatorias. La experimentación en el presente trabajo, utiliza aditivos que tienen mayor disponibilidad<sup>22</sup> en el medio.

<sup>21</sup> Su carácter químico, industrial o natural.

<sup>22</sup> En la tabla 09 y 10, se remarcan de otro color, los aditivos utilizados en esta investigación.

Tabla 09 Compilación de Aditivos Naturales.

Tabla 10 Compilación de Aditivos Sintéticos.

Aditivos Naturales		Aditivos Sintético	
COD	Nombre	COD	Nombre
AEN_01	Algas	AES_01	Cal
AEN_02	Arena	AES_02	Cemento
AEN_03	Bacterias	AES_03	Cola plástica
AEN_04	Cabello	AES_04	Emulsión asfáltica
AEN_05	Cascarilla de Arroz	AES_05	Fibras plásticas
AEN_06	Ceniza Volcánica	AES_06	Fibras de vidrio
AEN_07	Fibra de Acerrín	AES_07	Sal
AEN_08	Fibra de Bagazo de Plátano	AES_08	Yeso
AEN_09	Fibra de Cabuya	AIS_01	Aceite quemado
AEN_10	Fibra de Cáñamo	AIS_02	Cal
AEN_11	Fibra de Carrizo	AIS_03	Cáscara de Camarón
AEN_12	Fibra de Coco	AIS_04	Caseína (suero de leche)
AEN_13	Fibra de Paja	AIS_05	Cola plástica
AEN_14	Fibra de Totora	AIS_06	Cera de parafina
AEN_15	Lana de Oveja	AIS_07	Emulsión asfáltica
AEN_16	Resina de Nopal	AIS_08	Sellador comercial
AEN_17	Temperatura		
AIN_01	Aceite de Linaza		
AIN_02	Melaza		
AIN_03	Miel de Abeja		
AIN_04	Resina de Pino		

Codificación (COD).

A ditivo. E estabilizante. I mpermeabilizante. N atural. S intético.

# UCUENCA

Tabla 11 Lugares de extracción de muestras.

Tipología por lugar				
Codificación	Ciudad	Zona	Latitud	Longitud
T_01	Cuenca	Challuabamba	-2.859099	-78.921227
T_02	Cuenca	Monay	-2.916045	-78.973492
T_03	Cuenca	Nulti	-2.866469	-78.923978
T_04	Pucará	Deuta	-3.321508	-79.395789

075)

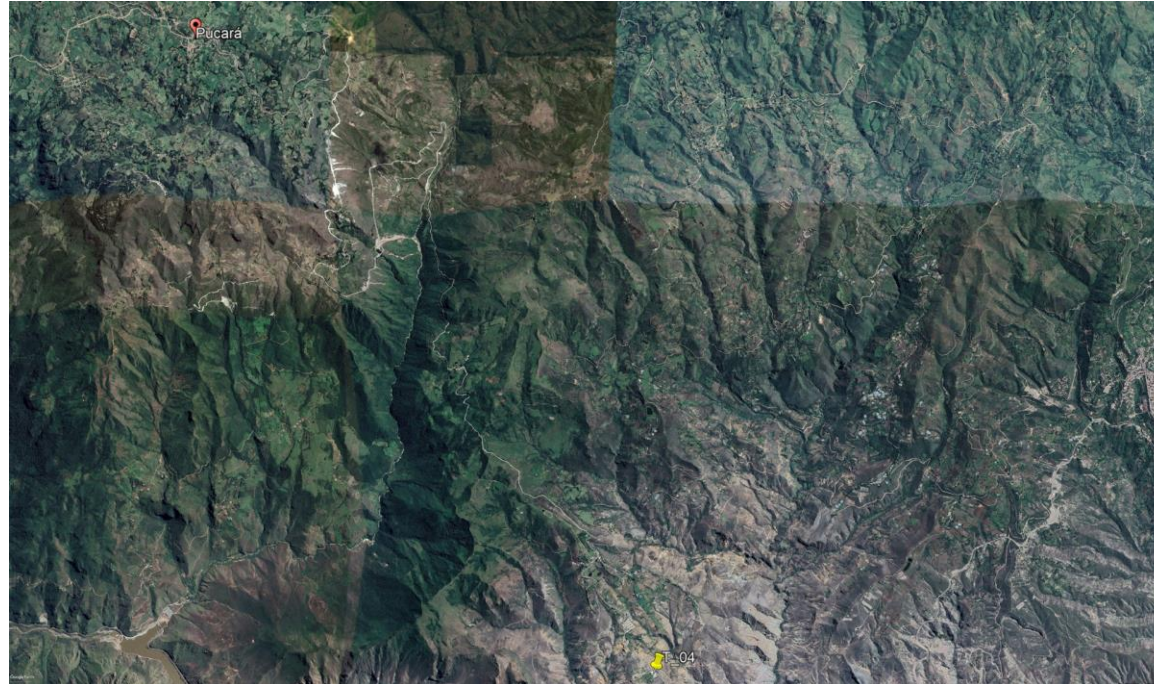


Figura 075 Localización de extracción de muestra en Pucará. Google Earth.

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

076

### 3.4. Selección y caracterización de la tierra.

En un principio, se ha optado por 4 lugares<sup>23</sup> donde el suelo muestre diferente coloración, con el objetivo de ampliar el espectro de selección y experimentación. (Tabla 11, Figuras 075 y 076). Posteriormente, se abordará la determinación de viabilidad de los mismos a través de pruebas empíricas y de laboratorio y con estos datos escoger la tierra con mayor potencial para la creación de BTC.

<sup>23</sup> Lugares también seleccionados por la disponibilidad de extracción del material.

# UCUENCA

077

076)



Figura 076 Localización de extracción de muestras en Cuenca. Google Earth.

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

077)



078)



079)



**Figura 077** Ensayo de olor.  
**Figura 078** Ensayo de mordedura.  
**Figura 079** Ensayo de lavado.

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

**3.4.1 Pruebas empíricas.**

**Tabla 12** Ensayos empíricos T\_01 y T\_02 (Challuabamba y Monay).

T01	T02
<p><b>Ensayo de olor (Figura 077)</b></p> <p>En seco no presenta olor leve a moho. Húmeda, aumenta el olor a moho. Por lo tanto presenta un nivel bajo de materia orgánica</p> <p><b>Ensayo de mordedura (Figura 078)</b></p> <p>Tienen una sensación media desagradable de partículas y partes suaves. Por lo tanto, es arenosa con un poco de arcilla.</p> <p><b>Ensayo de lavado (Figura 079)</b></p> <p>Húmeda tiene consistencia jabonosa y se siente parcialmente las partículas; al secarse se retira fácilmente frotando las manos. Por lo tanto, es limosa</p> <p><b>Ensayo de corte (Figura 080)</b></p> <p>Parcialmente brillante. Por lo tanto, un nivel medio de arcilla al igual que de limo</p> <p><b>Ensayo de la bola (Figura 081)</b></p> <p>La bola se aplana levemente y no presenta fisuras o muy pocas, tiene un contenido de arcilla muy elevado</p> <p><b>Ensayo de consistencia (Figura 082)</b></p> <p>Permita llegar a los 3 mm en el cilindro sin que se rompa; la bola a partir de ello, es muy difícil romper. Por lo tanto, contiene cantidades altas de arcilla.</p>	<p>En seco no presenta olor leve a moho. Húmeda, aumenta el olor a moho. Por lo tanto presenta un nivel bajo de materia orgánica</p> <p>Tienen una sensación desagradable de partículas y partes suaves. Por lo tanto, es arenosa con un poco de arcilla.</p> <p>Húmeda tiene consistencia pastosa y se siente las partículas; al secarse se retira frotando las manos con dificultad media. Por lo tanto, es arenosa - arcilla baja</p> <p>Corte opaco. Por lo tanto, un nivel alto de limo</p> <p>La bola cae y presente grietas, pero sin disgregarse, lo que nos dice que tiene un contenido de arcilla aceptable.</p> <p>Permita llegar a los 3 mm en el cilindro sin que se rompa; la bola a partir de ello, es muy difícil romper. Por lo tanto, contiene cantidades altas de arcilla.</p>

080)



081)



082)



**Figura 080** Ensayo de corte.  
**Figura 081** Ensayo de la bola.  
**Figura 082** Ensayo de consistencia.

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

**Tabla 13** Ensayos empíricos T\_03 y T\_04 (Nulti y Deuta).

T03	T04
<p><b>Ensayo de olor (Figura 077)</b></p> <p>En seco no presenta olor leve a moho. Húmeda, aumenta el olor a moho. Por lo tanto presenta un nivel bajo de materia orgánica</p> <p><b>Ensayo de mordedura (Figura 078)</b></p> <p>Sensación pegajosa y partes suaves. Por lo tanto, presenta arcilla</p> <p><b>Ensayo de lavado (Figura 079)</b></p> <p>Húmeda tiene consistencia jabonosa y se siente parcialmente las partículas; al secarse no se retira fácilmente frotando las manos, se necesita agua para limpiar. Por lo tanto, es arcillosa</p> <p><b>Ensayo de corte (Figura 080)</b></p> <p>Bbrilosa. Por lo tanto, un nivel alto de arcilla</p> <p><b>Ensayo de la bola (Figura 081)</b></p> <p>La bola se aplana levemente y no presenta fisuras o muy pocas, tiene un contenido de arcilla muy elevado</p> <p><b>Ensayo de consistencia (Figura 082)</b></p> <p>Permita llegar a los 3 mm en el cilindro sin que se rompa; la bola a partir de ello, es muy difícil romper. Por lo tanto, contiene cantidades altas de arcilla.</p>	<p>En seco no presenta olor leve a moho. Húmeda, aumenta el olor a moho. Por lo tanto presenta un nivel bajo de materia orgánica</p> <p>Tienen una sensación desagradable de partículas y partes harinosas. Por lo tanto, es arenosa con un poco de arcilla.</p> <p>Húmeda tiene consistencia pastosa y se siente las partículas; al secarse se retira fácilmente frotando las manos. Por lo tanto, es limosa - arenosa</p> <p>Parcialmente brillante. Por lo tanto, un nivel medio de arcilla al igual que de limo</p> <p>La bola cae y presente grietas, pero sin disgregarse, lo que nos dice que tiene un contenido de arcilla aceptable.</p> <p>Permita llegar a los 3 mm en el cilindro sin que se rompa; la bola a partir de ello, es muy difícil romper. Por lo tanto, contiene cantidades altas de arcilla.</p>

**3.4.2. Ensayos de laboratorio**

Las pruebas de laboratorio utilizadas son:

**- Granulometría**

La normativa colombiana NTC 5324 y la normativa española UNE 41410, establecen los mismos rangos granulométricos para selección de suelos. En este caso T\_01 (Challuabamba) es la única muestra que desborda los límites establecidos. (Figura 083).

**- Plasticidad**

La normativa colombiana NTC 5324 y la normativa española UNE 41410, establecen los mismos rangos de plasticidad para selección de suelos. En este caso ninguna muestra se encuentra dentro del espectro normativo. (Figura 084).

**- Ensayo proctor**

El ensayo Proctor nos permite evaluar la cantidad de agua adecuada, para llegar a mayores densidades del material con la misma presión ejercida. En este caso 3 de las muestras encuentran su límite de

compactabilidad con porcentajes de humedad menores a 30%. Sin embargo, la muestra T\_04 (Deuta) no logra alcanzar su máximo límite de compactación, por la implicación de adicionar un alto porcentaje de agua para ello. (Figura 085).

Las pruebas de laboratorio son mucho más claras, y en conjunto con los límites establecidos por la norma NTC 5324, nos permite descartar rápidamente T01 en granulometría. Por otro lado, en la zona de plasticidad ninguna llega al rango deseado, pero se opta por la más cercana que es la T02; de este modo las otras quedan descartadas. A pesar de ello, se someten todas a la prueba Proctor para evaluar la densidad de cada una de ellas. Y en este caso, la que presenta una mayor compactación, con inclusive menor cantidad de agua es la T02, por lo que se reafirma como la mejor de las muestras en este estudio para la creación de paneles BTC.

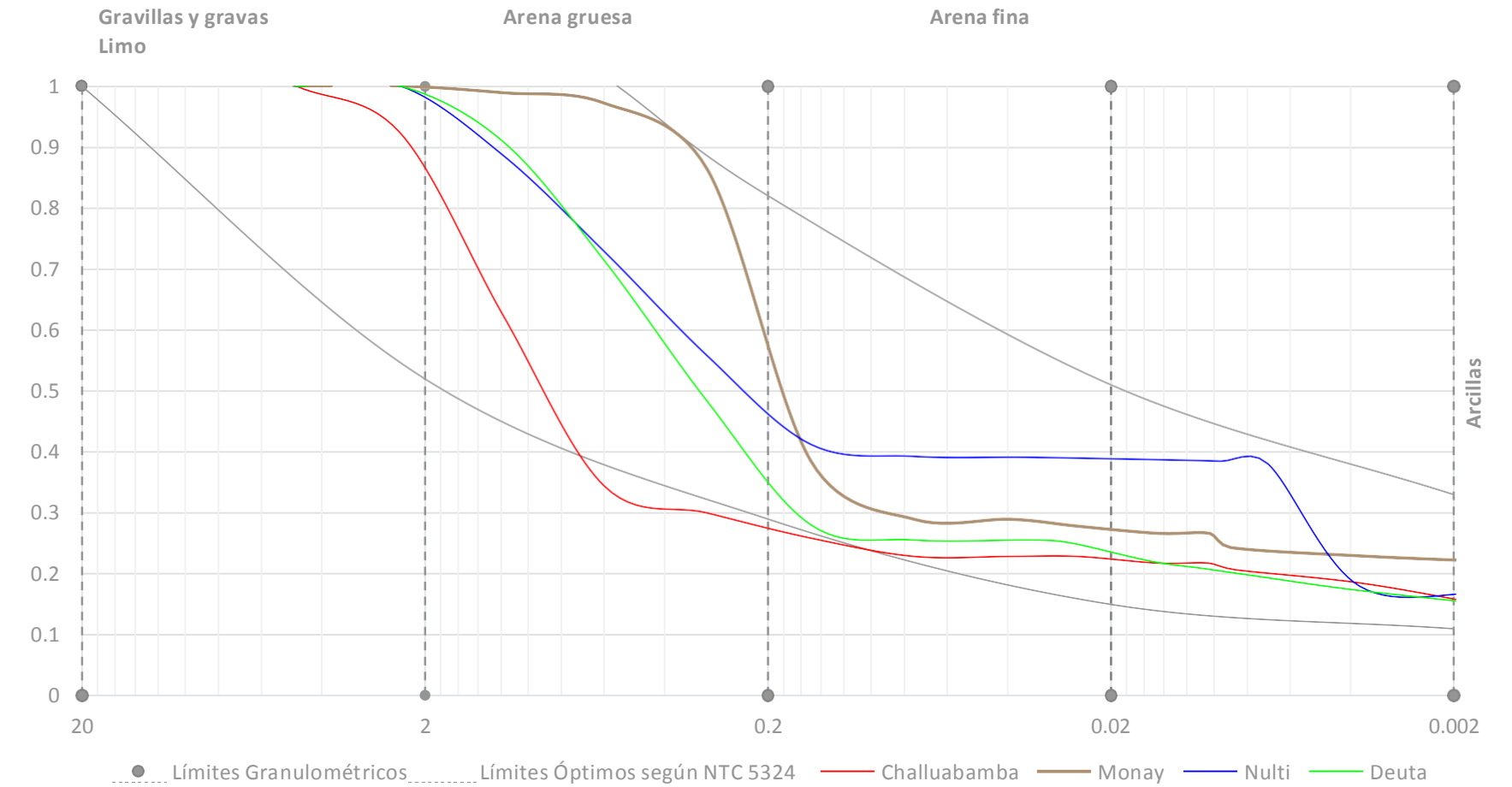


Figura 083 Diagrama comparativo de suelos. Ensayo de granulometría.

084)

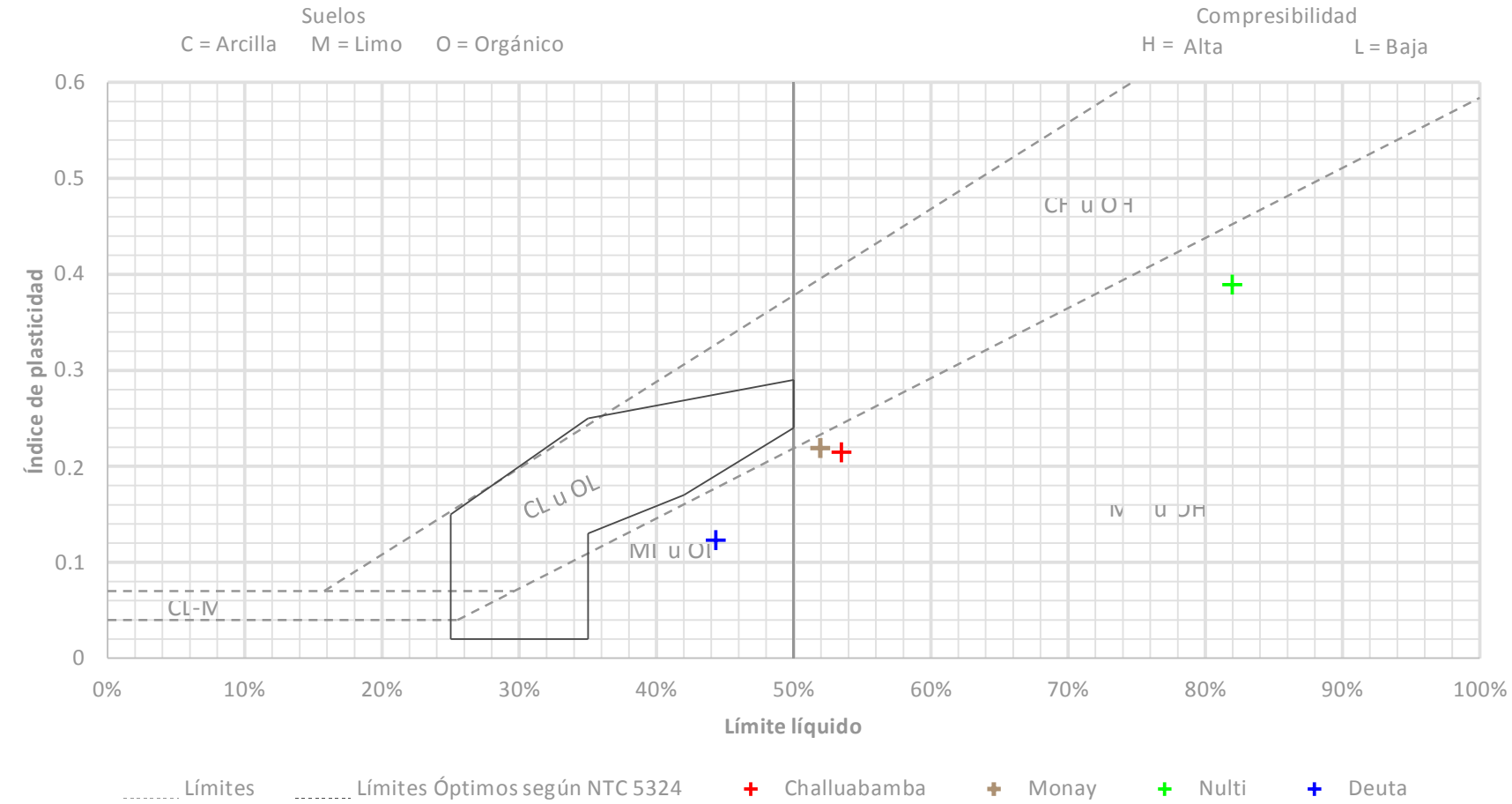


Figura 084 Diagrama comparativo de suelos. Ensayo de plasticidad.

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

085)

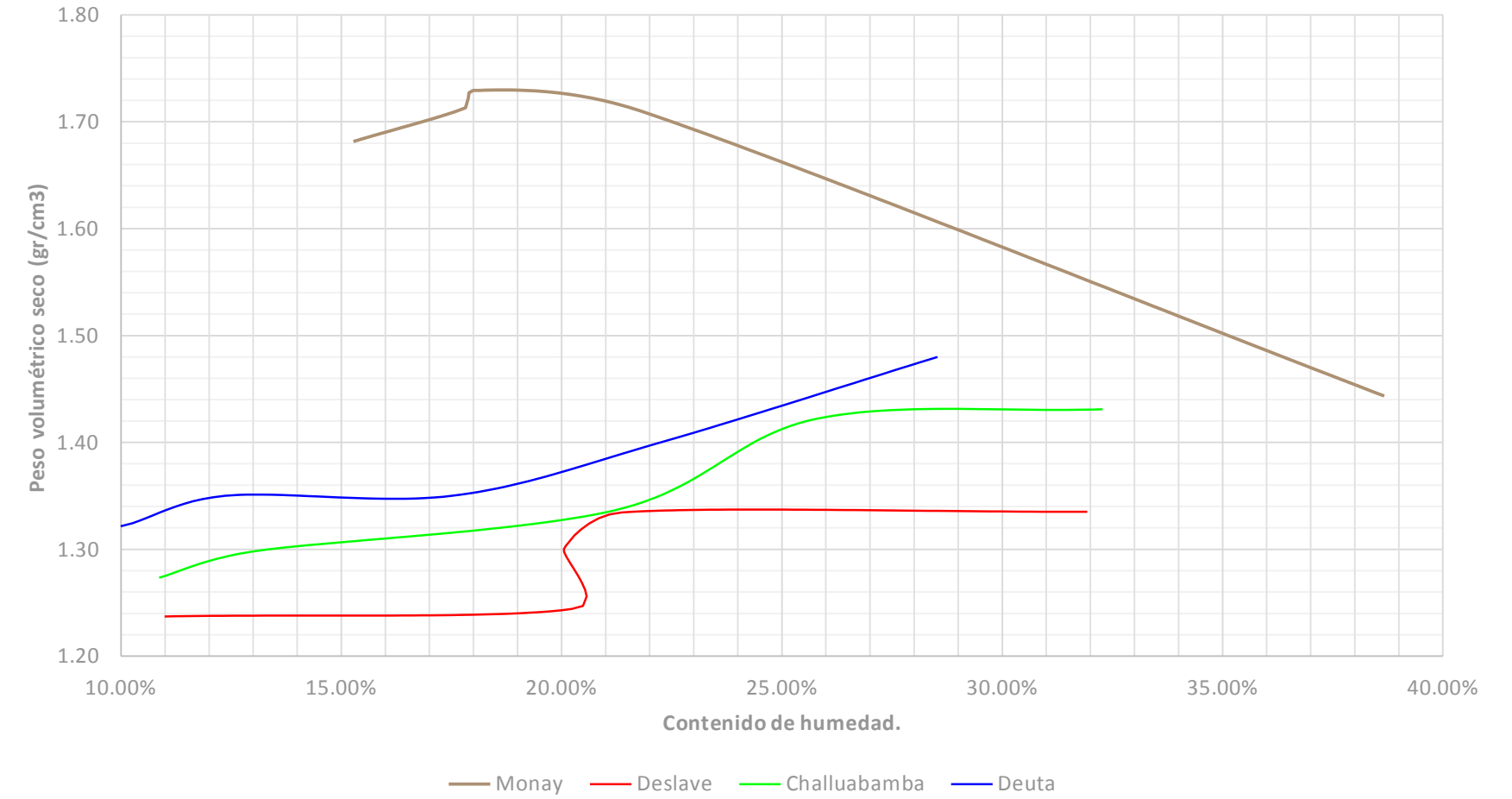


Figura 085 Diagrama comparativo de suelos. Ensayo Proctor.

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 14 Resultados de caracterización de suelos

Resultados de caracterización de suelos						
PRUEBAS EMPÍRICAS						
Suelo	Ensayo del olor	Ensayo de mordedura	Ensayo de lavado	Ensayo de corte	Ensayo de la bola	Ensayo de consistencia
T01	Nivel bajode MO	Arenosa con arcilla	Alto contenido de limo	Nivel medio de arcilla	Alto contenido de arcilla	Cantidades altas de arcilla
T02	Nivel bajode MO	Arenosa con arcilla	Arenosa con poca arcilla	Alto en limo	Cantidad aceptable de arcilla	Cantidad alta de arcilla
T03	Nivel bajode MO	Cantidades altas de arcilla	Arcillosa	Nivel alto de arcilla	Contenido elevado de arcilla	Cantidades altas de arcilla
T04	Nivel bajode MO	Arenosa con baja arcilla	Limosa - arenosa	Nivel medio de limo y arcilla	Cantidad aceptable de arcilla	Cantidades altas de arcilla
PRUEBAS DE LABORATORIO						
Suelo	Curva granulométrica	Plasticidad	Ensayo Proctor			
T01	Ligeramente se sale del rango.	Suelo limo u orgánico de alta compresibilidad	Alcanza 1,34 kg/cm3 con 33% de humedad			
T02	Se encuentra dentro del rango.	Suelo limo u orgánico de alta compresibilidad	Alcanza 1,73 kg/cm3 con 18% de humedad			
T03	Se encuentra dentro del rango.	Suelo limo u orgánico de alta compresibilidad	Alcanza 1,43 kg/cm3 con 33% de humedad			
T04	Se encuentra dentro del rango.	Suelo limo u orgánico de baja compresibilidad	Alcanza 1,40 kg/cm3 con 22% de humedad			

Las pruebas empíricas nos dan contenidos de arcilla con baja exactitud, puesto que la tierra parece mostrar más o menos arcilla dependiendo de la concentración de agua y del tiempo de amasado. Sin embargo, se sintetiza en la tabla 14 conjuntamente con los ensayos de laboratorio para observar la correlación entre ellas y posteriormente usarlas en obra.

3.5. Creación de panel BTC.

Una vez concluida la categorización de suelos, se propuso trabajar con la tierra del sitio T02. Puesto que los resultados de esta, se acercan más a los requerimientos expuestos por las pruebas empíricas y por la normativa colombiana. El panel tipo BTC se diseñó para ajustarse, pero sin limitarse, al sistema sandino. Farfán y Lopez (2023) adaptan dicho sistema al contexto ecuatoriano mediante el uso del bambú. En su estudio disciernen que los módulos que responden estructural y arquitectónicamente de mejor manera son de: 30x60x7 cm y de 30x90x7 cm, que corresponden al alto, largo y espesor respectivamente. Esta investigación toma como referencia su módulo de diseño más desfavorable de 30x90x7 cm como punto de partida para la experimentación de los BTC.

- El sistema de creación del BTC se conforma de 3 fases después de la selección del suelo:
- Fase 1.- Secado y cernido del material.
  - Fase 2.- Dosificación y prensado del material.

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

- Fase 3.- Curado y secado del BTC.

3.5.1 Secado y cernido del material.

Se recolectaron 4 m3 de tierra del sitio T02, se parció y se secó al aire por 7 días con el objetivo de facilitar el cernido (Figura 086). Puesto que, debemos garantizar un tamaño máximo de partícula que oscila entre 4.8 y 5 mm según las normativas brasileñas y la colombiana. Uno de los problemas iniciales es la eficiencia de cernido, ya que de forma manual, alrededor de un 50% de material (dependiendo del tipo de tierra) se desperdicia en grumos que no se disgregan meramente con la acción de tamizar (Figura 087). También, es prudente comentar que el cernido es muy lento, puesto que no se puede cargar más de 0.02m3 debido al desgaste físico y a problemas de desbordamiento. Por esta razón, se opta por crear un cilindro cernidor (capítulo 4.2.1) que a más de cernir, también

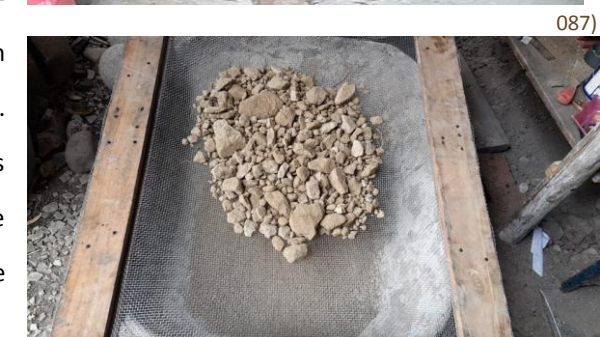


Figura 086 Secado de material apilado (T\_02).  
Figura 087 Zaranda o cernidor de malla.

tritura el material y que tiene como consecuencia aumentar en gran medida la eficiencia (Figura 088). Cabe recalcar que preocuparnos por la eficiencia es fundamental para demostrar la viabilidad de producción a gran escala de los paneles BTC.

**3.5.2 Dosificación y prensado del material.**

Para iniciar, se toman como referencia las normativas mencionadas en el capítulo 3.2. Sin embargo, también es necesario usar otros trabajos que estén más acordes al dimensionamiento de BTC de nuestra propuesta. Abad Vega et al. (2012) trabaja con paneles de 30x50 cm con un espesor variable de entre 2 y 3 cm. Su trabajo experimenta con algunos aditivos en diferentes proporciones. Y como resultado, llegan a una dosificación que permite estabilizar su panel con las siguientes proporciones:

- 5% de goma.
- 20% de cemento.
- Fibras de cabuya (No se menciona el porcentaje).

- 75% de tierra (50% de arena y 50% de arcilla).  
 - Trabajan con una presión de entre 25 y 33 kg/cm<sup>2</sup>.  
 Este trabajo logra estabilizar un panel de gran esbeltez con la dosificación mencionada. Por lo que se usa de referencia para crear nuestra dosificación de partida. Además, es importante recalcar que también se abordó el trabajo de Galíndez (2007), en donde experimenta con BTC sin uso de cemento. Esta investigación expone que existe una relación directamente proporcional entre la presión para crear el BTC y la resistencia a compresión que soporta dicho BTC. Una vez establecida una guía inicial de dosificación y parámetros de prensado, se procede a crear y experimentar con los BTC (Figura 089). Cabe recalcar que para nuestra experimentación se agrupan en 4 apartados las diferentes variantes de panel, dichos apartados competen a: base (usa netamente la tierra y agua), fibras (usa la base y añade fibras vegetales), cementantes (usa la base y aditivos cementantes) y otros (usa la base



Figura 088 Cilindro cernidor.  
 Figura 089 Mezclado de material.

y alguna tentativa de aditivo como la emulsión asfáltica).  
 Para iniciar se define si usar una prensa manual o hidráulica. El panel planteado (30x90x7 cm) en el presente trabajo tiene un área de 2700 cm<sup>2</sup>. Por lo que para usar una presión lo más alta y asequible posible se propone fabricar una prensa hidráulica con capacidad de 50 toneladas (capítulo 4.2.1) que permite ejercer una presión de 18.52 kg/cm<sup>2</sup> (Figura 090). El objetivo de plantear un panel en escala real es la de evidenciar la viabilidad de crear dicho panel y de evaluar la eficiencia de su fabricación. Los diferentes aditivos y dosificaciones propuestas se exponen en la tabla 15. Cabe recalcar que en el proceso de prensado se experimentó con espesores de panel que iban desde los 10 cm hacia abajo. Sin embargo, en espesores altos, ningún panel soportaba el desencofrado (Figura 091). La estabilidad empezó a ser factible a partir de los 6 cm, medida que se usó para diseñar las variantes de panel.

**3.5.3 Curado y secado de los paneles BTC.**

En la etapa de curado se recomienda hidratar durante 7 días a paneles que contengan cemento y cal. Mientras que a los que contengan meramente fibras y tierra solo es necesario protegerlos del sol para evitar agrietamientos debido a la rápida pérdida del agua. Un punto importante es que, debido a la geometría se plantea un sistema de apilado por tirillas que tienen en cuenta el espesor del panel con una pequeña cámara de aire para respirar (Figura 092). Para finalizar en este apartado, se pudo discernir algunas consideraciones:  
 Los paneles con fibras generalmente no logran mantenerse estables en longitudes de 90cm.  
 Los paneles con contenido de cemento igual o superior al 15% toleran las dimensiones propuestas de 90x30x6 cm.  
 Los paneles de fibras con dimensiones 45x30x6 cm (panel grande dividido), toleran de forma excelente el curado y el transporte.



Figura 090 Prensa con gato hidráulico de 50 ton.  
 Figura 091 Rotura de panel por transporte.  
 Figura 092 Curado de paneles BTC.

b)

**Tabla 15** Dosificaciones de paneles BTC)

Permutaciones de composición de panel		Observaciones
<b>Base</b>		
PB_01	Agua 15% (T_02)	Aguanta proceso de secado, pero no transporte y colocación.
PB_02	Agua 15% (T_03)	No aguanta proceso de secado, presenta agrietaciones.
<b>Fibras</b>		
PF_01	Agua 15%, Goma 5%, Aserrín 5%.	
PF_02	Agua 15%, Goma 5%, Cabuya 5%.	
PF_03	Agua 15%, Goma 5%, Carrizo molido 5%.	
PF_04	Agua 15%, Goma 5%, Carrizo esqueleto 5%.	No aguanta proceso de secado, presenta agrietaciones.
PF_05	Agua 15%, Goma 5%, Totorá 5%.	
<b>Cementantes</b>		
PC_01	Agua 20%, Cal 20%.	
PC_02	Agua 20%, Cemento 5%.	
PC_03	Agua 20%, Cemento 10%.	
PC_04	Agua 20%, Cemento 15%.	
PC_05	Agua 20%, Cemento 20%.	
PC_06	Agua 20%, Cemento 25%.	
<b>Otros</b>		
PO_01	Agua 15%, Emulsión asfáltica 7%.	Aguanta proceso de secado, pero no transporte y colocación.

**3.6. Caracterización mecánica del panel BTC.**

Para el ensayo a compresión, se optó por dividir todos los paneles debido a limitaciones de la maquinaria de laboratorio. Es así que, los paneles quedan con dimensiones de 30x45x6 cm. Para los ensayos de compresión de BTC se tomó como referencia la normativa colombiana NTC 2354, que clasifica 3 tipos de BTC con respecto a su resistencia (BTC 20, 40, 60; con una resistencia de 2, 4 y 6 MPa respectivamente compresión seca).

Como variables iniciales debemos asegurar en la prensa una velocidad de 0.02 mm/s o un aumento constante de presión de entre 0.15 MPa/s y 0.25 MPa/s hasta la rotura completa. También, se debe utilizar un elemento para homogeneizar las caras que estarán en contacto con la prensa. Se puede usar una chapa de mortero, hojas de cartón o triplex de 3 mm o 4 mm (Figura 093 y 094). Los resultados de la caracterización mecánica a compresión se muestran en la tabla 16.



093)



094)

**Figura 093** Rotura de Paneles BTC.  
**Figura 094** Rotura de Paneles BTC.

095)

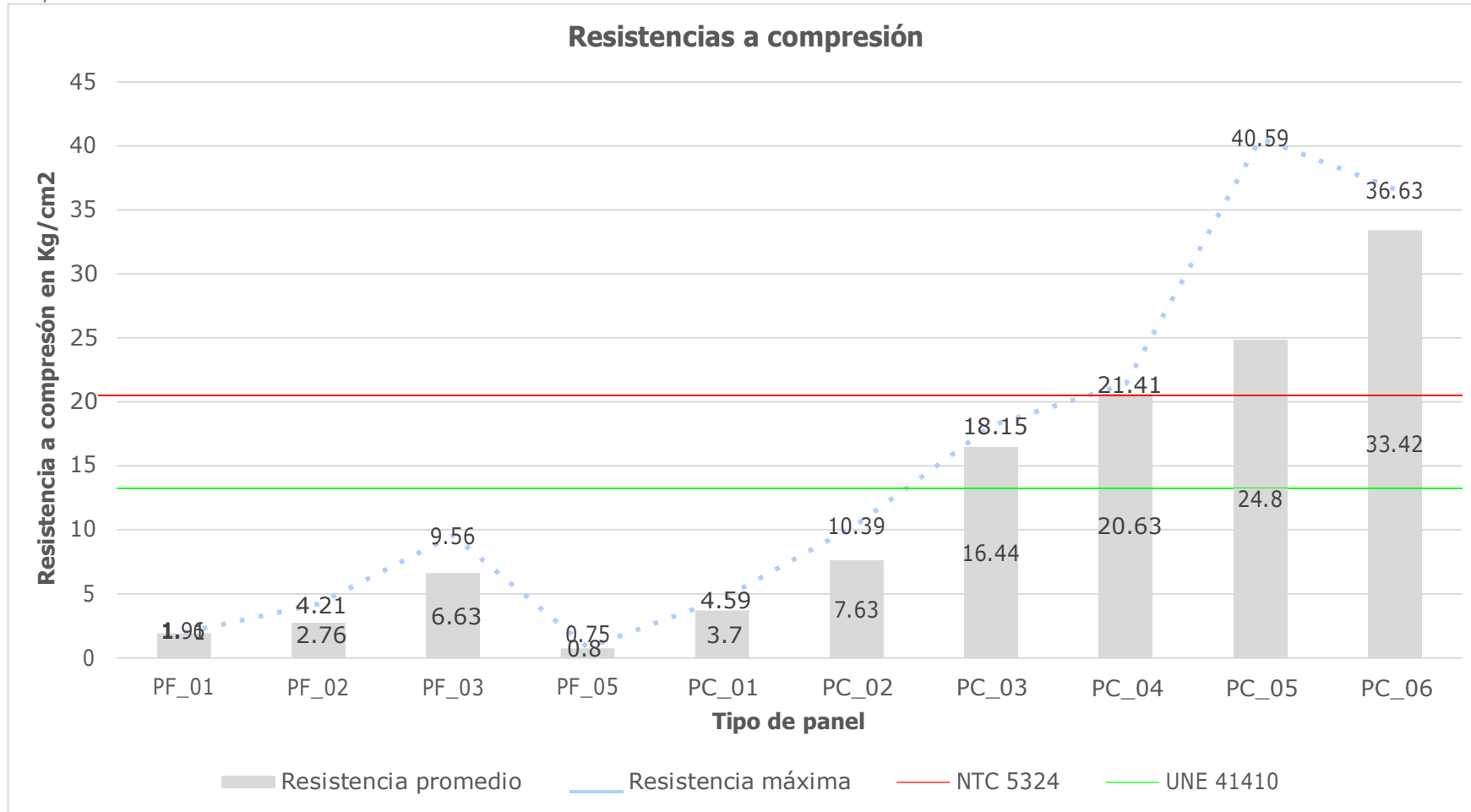


Figura 095 Diagrama de resistencia de paneles y el marco normativo.

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 16 Cuadro de resistencias de panel BTC (30x45x6 cm)<sup>24</sup> (ancho x largo x espesor)

Cuadro de resistencias													
COD	Agua	Arena gruesa y Gravillas	Arena fina y Limo	Arcilla	Descripción	Material Secundario	Proporción	Detalle	Desmoldado	Tiempo de secado (días)	Peso (kg)	Resistencia med. a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia máx. a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
PB_01	15	43	35	22	-	-	-	-	Fácil	28	25	-	-
PB_02	15	54	30	16	-	-	-	-	Fácil	28	25	-	-
PF_01	15	43	35	22	Goma Blanca Aserrín	5% 5%	Relación volumétrica		Medio	28	24	1.91	1.96
PF_02	15	43	35	22	Goma Blanca Cabuya	5% 5%	Relación volumétrica Rangos < 2.5cm		Medio	28	24	2.76	4.21
PF_03	15	43	35	22	Goma Blanca Carrizo	5% 5%	Relación volumétrica Rangos < 2.5cm		Medio	28	24	6.63	9.56
PF_04	15	43	35	22	Goma Blanca Carrizo	5% 5%	Relación volumétrica Esqueleto de carrizo		Medio	28	24	-	-
PF_05	15	43	35	22	Goma Blanca Totorá	5% 5%	Relación volumétrica Rangos < 2.5cm		Medio	28	24	0.75	0.80
PC_01	20	43	35	22	Cal	20%	Relación volumétrica		Medio	28	25	3.70	4.59
PC_02	20	43	35	22	Cemento	5%	Relación volumétrica		Difícil	28	26	7.63	10.39
PC_03	20	43	35	22	Cemento	10%	Relación volumétrica		Difícil	28	26	16.44	18.15
PC_04	20	43	35	22	Cemento	15%	Relación volumétrica		Difícil	28	26	20.63	21.41
PC_05	20	43	35	22	Cemento	20%	Relación volumétrica		Difícil	28	26	24.80	40.59
PC_06	20	43	35	22	Cemento	25%	Relación volumétrica		Difícil	28	26	33.42	36.63
PO_01	15	43	35	22	Emulsión asfáltica	7%	Relación volumétrica		Medio	28	25	-	-

<sup>24</sup> Para los ensayos a compresión se optó por dividir todos los paneles debido a limitaciones de la maquinaria de laboratorio. Sin embargo, las resistencias son analizadas con respecto al área de distribución lo cual no variaría para paneles de (30x90x6 cm) (ancho x largo x espesor)

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

### 3.7. Análisis de rotura del panel BTC.

Con respecto a la rotura de paneles se generan criterios de composición, los cuales guíen la creación de paneles aún más estables. Es así que podemos retroalimentarnos comentando lo siguiente:

Los paneles BTC con agua, tierra, sin aditivos y con la presión ejercida de entre 18 y 19 kg/cm<sup>2</sup> no toleran el transporte para ser sometidos a ensayos de compresión.

Los paneles BTC con fibras vegetales como aditivos, tuvieron un incremento considerable en cuanto a la estabilidad del panel versus el panel base sin aditivos. Sin embargo, las resistencias que arrojan no son suficientes para cumplir las normativa NTC 5324. Cabe recalcar que la fibra de carrizo fue muy superior a las demás fibras, por lo que puede ser un candidato para industrializar BTC con fibras<sup>25</sup>.

Los paneles BTC que incorporaron cal se pueden

comparar a los de aditivos con fibras vegetales. Sin embargo, el núcleo de estos paneles parece haber tenido problemas al momento del curado, puesto que se mostraba muy poroso.

Los paneles BTC que incorporaron cemento<sup>25</sup> tuvieron excelentes resultados. Sin embargo, solo los paneles que superaron el 15% de agregado de cemento lograron cumplir con las resistencias exigidas por la NTC 5324. Cabe recalcar que con presiones de 220 kg/cm<sup>2</sup>.

Los paneles BTC que se experimentaron con emulsión asfáltica tuvieron los peores resultados, puesto que presentaron muchos inconvenientes al momento del desencofrado y no fueron posibles de transportar. Sin embargo, se aclara que podría estar afectado por la fuerza de prensado, puesto que no se pudo experimentar con mayores presiones.

<sup>25</sup> Se experimentaron con probetas de menores dimensiones (15x15x5 cm) y una presión de 220 kg/cm<sup>2</sup>. Lo cual mostró (empíricamente) un considerable aumento en la resistencia de las adiciones en BTC con fibra; evidencia de que existe una relación directamente proporcional de la resistencia a compresión con la fuerza de prensado en este caso. Sin embargo, en estas mismas condiciones las probetas adicionados con cemento se disgregan al momento del secado. Lastimosamente estas probetas no fueron ensayadas en laboratorio por que son el material de estudio para otra tesis de temas afines.

### 3.8. Conclusiones

Las normativas del contexto como la colombiana o brasileña, han sido de gran ayuda al momento de establecer límites y parámetros de creación del panel. Sin embargo, no fue la única fuente de referencia para establecer un punto de partida, por lo que se tomó de referencias otras investigaciones que permitieron establecer de forma más sólida nuestro punto de partida.

La tierra seleccionada se extrajo del sitio T02, que permitió alcanzar paneles de btc con resistencias aceptables. El proceso de creación de BTC con las dimensiones propuestas de 6x30x90 cm con espesor, alto y largo respectivamente empezó con el prensado de muchas permutaciones de panel. Lo que nos llevó a obtener 3 paneles estables a compresión según la normativa NTC 5324, que responden al objetivo inicial de diseñar 3 variantes de panel que se puedan adaptar al sistema sandino; mismos que se componen de 15, 20 y 25% de cemento que se denominaron con la nomenclatura

de PC\_4, PC\_5 Y PC\_6 respectivamente. Los paneles de fibras respondieron bien al control de grietas, sin embargo no alcanzaron las resistencias requeridas por la NTC 5324. Sin embargo, se asume que someterlos a mayor presión podrían aumentar favorablemente sus resultados a compresión.



## Capítulo 4. Producción y Costos

**4.1. Introducción**

Para la producción y costos del panel, se toma en consideración las 4 etapas de desarrollo (extracción del material, secado - cernido, dosificación - prensado y cuarado de paneles). Debido a sus dimensiones (90x30x6 cm), requiere de maquinaria específica para reducir sus costos y aumentar su producción; por lo que se plantea su diseño y construcción. De igual manera, es importante analizar el coste de todo el proceso de desarrollo de BTC enfocado hacia la construcción en el sistema sandino. Para ello, abordamos la maquinaria necesaria para fabricar los BTC en las geometrías mencionadas. Posterior a ello, explicar el costo hora que tendrá dicha maquinaria. Finalmente, se analizará el costo de producción del panel, el cual influencia en el precio en conjunto con el sistema sandito de Farfán y Lopez (2023). Con el objetivo de comparar el coste por metro cuadrado de construcción del sistema sandino con los paneles de tierra, versus el costo de construcción contemporánea.

**4.2 Construcción de maquinaria.**

Para la producción de los paneles BTC se tuvo que proponer dos máquinas que permitan su fabricación en las dimensiones propuestas: Una prensa hidráulica manual con capacidad de 50 toneladas y una cilindro cernidor de acero con perforaciones de 4mm que hace uso de unas varillas de acero para mezclar y triturar los grumos de la tierra.

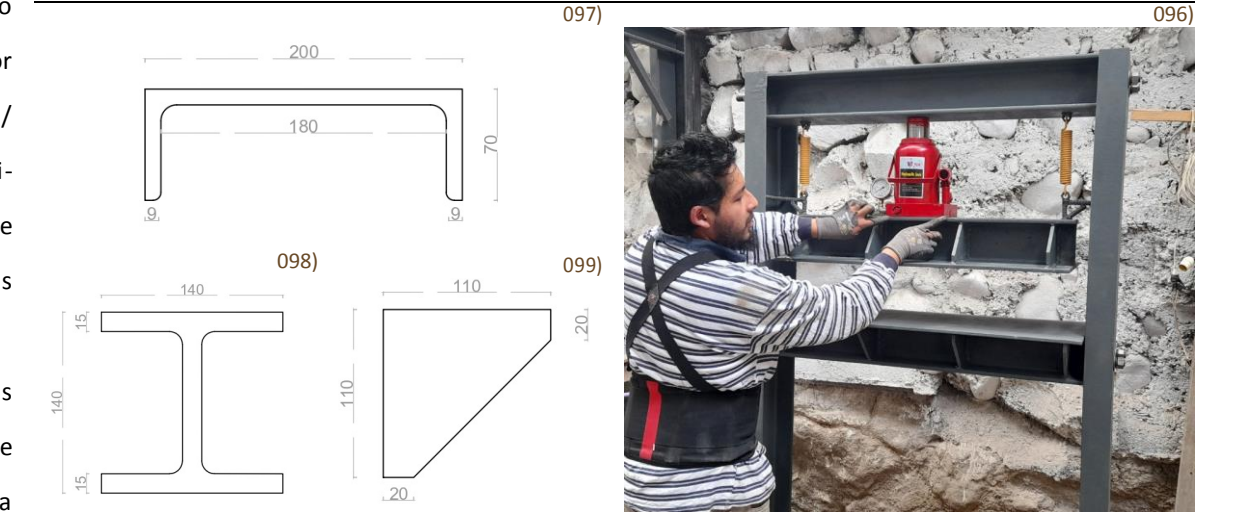
**4.2.1. Construcción de prensa hidráulica.**

Para la prensa hidráulica (Figura 095) se planificó reciclar el acero de chatarrerías, ya que el precio por kg en perfiles oscila alrededor de los 0.70 ctvs/kg. Para el diseño de la prensa se buscaron perfiles disponibles y con una simulación en el software Sap2000, se optó por usar los siguientes perfiles (Tabla 17).

En el software Sap2000, se simuló los perfiles sin rigidizadores y se aplicó una carga puntual de 50000 kg en el centro de las vigas para evaluar la resistencia del pórtico. La simulación demostró que existe una deformación de 2.5 mm. Por lo que el

Tabla 17 Perfiles usados en construcción de prensa.

Perfiles	Largo (m)	Ancho (m)	Sección/ espesor (mm)	Cantidad
UPN	1.9	-	Figura 096	2
IPN	1.1	-	Figura 097	2
IPN	0.9	-	Figura 097	1
Platina rectangular	0.9	0.08	15	2
Platina rectangular	1	0.08	15	2
Platina cuadrada	0.25	0.25	8	2
Rigidizador Triangular	Figura 098		8	16
Simbras	0.25	0.025	8	2
Poleas	5" D		-	2
Gata hidráulica de 50 ton	-	-	-	1



Figuras 096) Prensa hidráulica 097) Perfil UPN 098) Perfil IPN 099) Rigidizador triangular

100)

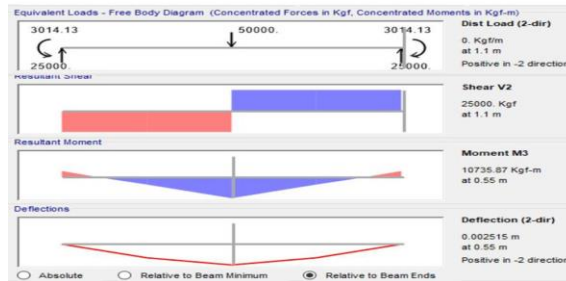
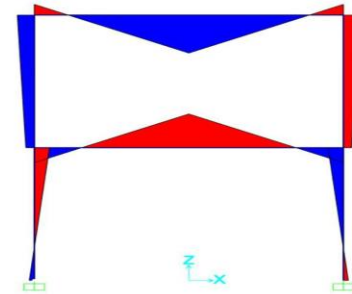
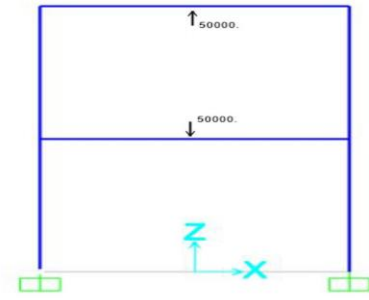


Figura 100 Simulación de pórtico de prensa.

Figuras 101) Zaranda o cernidora malla 102) Moledor manual 103) Cernidora manual

101)



102)



103)



perfil se encuentra aún en su deformación elástica (Figura 099)

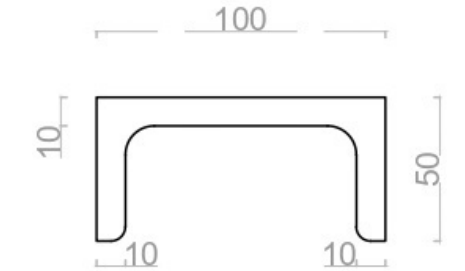
4.2.2. Construcción de cilindro cernidor.

En esta sección se parte del problema del cernido, y para ello se hicieron algunas pruebas, en donde se pasó de la zaranda manual típica (Figura 100) hacia una zaranda circular con tanques reciclados para cernir y triturar (Figura 101 y 102). Con estos resultados en mente, se diseñó un cilindro cernidor en acero (Figura 104), con el objetivo de triturar y cernir en un solo diseño. Los materiales necesarios para su construcción se presentan en la tabla 18.

El objetivo es construir el cilindro cernidor de modo que llegue a 40 rpm. Estas revoluciones son el resultado de la experimentación empírica. Puesto que con 40 rpm el cernido era más eficiente. Para bajar las revoluciones del motor se plantea un sistema de poleas. Sin embargo, un motoreductor también es factible.

Tabla 18 Perfilería usada en construcción de cilindro cernidor.

Perfiles	Largo (m)	Ancho (m)	Sección/ espesor (mm)	Cantidad
Planca de acero naval.	2	1.22	4	1
Perfiles UPN.	7	-	Figura 103	1
Polea	1 3/4" R	-	-	2
Polea de	6" R	-	-	2
Polea de	2" R	-	-	1
Polea de	7.5" R	-	-	1
Chumacera	1 1/2" D	-	-	2
Eje transmisor	0.60	-	32	1
Motor eléctrico 2hp	-	-	-	1
Cable AWG 12	3	-	12	1
Enchufe trifásico de 220v	-	-	-	1
Banda de transmisión	10" R	-	-	1
Banda de transmisión	12" R	-	-	1
Banda de transmisión	8" R	-	-	1
Pernos de 1/2" x 1"	1"	-	12	2
Tuerca mariposa de 1/2"	-	-	-	2
Varilla para moler	0.60	-	25	4



104)

105)



Figura 104 Perfil UPN. Figura 105 Cilindro cernidor en acero

**Tabla 19** Costo (en dólares) de construcción de prensa, cofre y cilindro cernidor

	Material	Precio	Total
<b>Prensa y zapata</b>	Perfiles, planchas y platinas	361.00	
	Gato hidráulico de 50 toneladas	110.00	
	Cimbras	10.00	
	Manómetro	20.00	
	Áridos, Cemento y acero para zapatas	27.00	
	Materiales varios (Lijas, tuercas, pintura)	52.70	
	Mano de obra (incluye materiales de suelda y discos)	360.00	
	Transporte de materiales	20.00	960.70
<b>Cofre</b>	Perfiles, planchas y platinas.	50.00	
	Mano de obra	30.00	
	Materiales varios (Lijas, tuercas, arandelas)	25.00	
	Transporte de materiales	5.00	110.00
<b>Cilindro cernidor</b>	Perfiles y plancha	300.00	
	Poleas y bandas	70.00	
	Varillas	12.00	
	Mano de obra (incluye materiales de suelda y discos)	200.00	
	Motor eléctrico	235.00	
	Chumaceras	50.00	
	Transporte de materiales	20.00	887.00
	<b>Total general</b>		1,957.70
	<b>Garantía</b>		2 años
	<b>Costo hora</b>		0.31

<sup>26</sup> Los Costos de producción, considera costos indirecto \$0.00 ya que se analiza el precio de producción para autoconstrucción. Sin embargo, en el caso de venta del panel se asumirá un % según el criterio del productor.

### 4.3. Costos

#### 4.3.1. Costo de construcción de prensa, cofre y cilindro cernidor.

La construcción de maquinaria repercute en el coste de los paneles para construir una vivienda. Sin embargo, planeada para dos años de trabajo, y al involucrar varias viviendas a nivel de comunidad, se vuelve muy rentable e inclusive aumentar la inversión en maquinaria para mejorar la eficiencia de producción. (Tabla 19)

#### 4.3.2. Costo de producción<sup>26</sup> por panel en sistema sandino y comparativa con otros sistemas.

El coste de los paneles BTC se vé altamente influenciado por la mano de obra y la eficiencia de maquinaria, concretamente de la prensa. Cabe recalcar, que el precio por panel dependerá del rendimiento (0.27 m<sup>2</sup> por panel) del mismo y en menor medida del tipo de agregados que se utilice. Por ello, se proponen algunos Análisis de Precios Unitarios (APUS) de panel, que se enfocan en los agregados. (Tablas 20 a 27).

**Tabla 20** APUS, PB\_01. Panel base, gata manual 50 Toneladas.

<b>PB_01. PANEL BASE (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MANUAL DE 50 TONELADAS</b>				
Unidad:	Panel			
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.31	0.31
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.33
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora		Total
Albañil	1	3.83		3.87
Ayudante de albañil	1	3.87		3.83
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			2	4.02
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.5	0.00	0.00
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.01
Costos directos				4.03
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				4.03
Total ofertado				4.03

106



**Figura 106** PB\_01. Panel base (90x30x6 cm).

107)



Figura 107 PF\_01 - PF\_05. Panel 1% de fibras (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 21 APUS, PF\_01 - PF\_05. Panel 1% de fibras, gata manual 50 Toneladas.

<b>PF_01 - PF_05. PANEL 1% DE FIBRAS (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MANUAL DE 50 TONELADAS</b>				
Unidad:	Panel			
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.31	0.31
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.33
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora		Total
Albañil	1	3.83		3.87
Ayudante de albañil	1	3.87		3.83
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			2	4.02
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.5	0.00	0.00
Cola blanca	Litro	1	2.64	2.64
Fibras	1% de la tierra	1	0.25	0.25
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				2.90
Costos directos				6.92
Costos indirectos %				0.00%
Total				6.92

108)



Figura 108 PC\_01. Panel 20% de cal (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 22 APUS, PC\_01. Panel 20% de cal, gata manual 50 Toneladas.

<b>PC_01. PANEL 20 % DE CAL (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MANUAL DE 50 TONELADAS</b>				
Unidad:	Panel			
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.31	0.31
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.33
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora		Total
Albañil	1	3.83		3.87
Ayudante de albañil	1	3.87		3.83
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			2	4.02
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.3	0.00	0.00
Cal	Libras	10	0.20	2.00
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				2.01
Costos directos				6.03
Costos indirectos %				0.00%
Total				6.03
Total ofertado				6.03

109)



**Tabla 23** APUS, PC 02. Panel 5% de cemento, gata manual 50 Toneladas.

<b>PC_02. PANEL 5 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MANUAL DE 50 TONELADAS</b>				
Unidad: Panel				
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.31	0.31
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.33
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora	Total	
Albañil	1	3.83	3.87	
Ayudante de albañil	1	3.87	3.83	
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			2	4.02
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.45	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.025	8.15	0.20
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.22
Costos directos				4.23
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				4.23
Total ofertado				4.23

**Figura 109** PC\_02. Panel 5% de cemento (90x30x6 cm).

110)



**Tabla 24** APUS, PC 03. Panel 10% de cemento, gata manual 50 Toneladas.

<b>PC_03. PANEL 10 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MANUAL DE 50 TONELADAS</b>				
Unidad: Panel				
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.31	0.31
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.33
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora	Total	
Albañil	1	3.83	3.87	
Ayudante de albañil	1	3.87	3.83	
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			2	4.02
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.4	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.05	8.15	0.41
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.42
Costos directos				4.44
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				4.44
Total ofertado				4.44

**Figura 110** PC\_03. Panel 10% de cemento (90x30x6 cm).

111)



Figura 111 PC\_04. Panel 15% de cemento (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 25 APUS, PC 04. Panel 15% de cemento, gata manual 50 Toneladas.

PC_04. PANEL 15 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MANUAL DE 50 TONELADAS				
Unidad:	Panel			
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.31	0.31
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.33
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora		Total
Albañil	1	3.83		3.87
Ayudante de albañil	1	3.87		3.83
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			2	4.02
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.35	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.075	8.15	0.61
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.63
Costos directos				4.64
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				4.64
Total ofertado				4.64

112)



Figura 112 PC\_05. Panel 20% de cemento (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 26 APUS, PC 05. Panel 20% de cemento, gata manual 50 Toneladas.

PC_05. PANEL 20 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MANUAL DE 50 TONELADAS				
Unidad:	Panel			
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.31	0.31
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.33
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora		Total
Albañil	1	3.83		3.87
Ayudante de albañil	1	3.87		3.83
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			2	4.02
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.3	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.1	8.15	0.82
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.83
Costos directos				4.85
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				4.85
Total ofertado				4.85

113)



Figura 113 PC\_06. Panel 25% de cemento (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 27 APUS, PC 06. Panel 25% de cemento, gata manual 50 Toneladas.

<b>PC_06. PANEL 25 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MANUAL DE 50 TONELADAS</b>				
Unidad:	Panel			
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.31	0.31
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.33
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora		Total
Albañil	1	3.83		3.87
Ayudante de albañil	1	3.87		3.83
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			2	4.02
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.3	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.125	8.15	1.02
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				1.03
Costos directos				5.05
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				5.05
Total ofertado				5.05

Lo más notorio del prensado con la gata manual es que afecta directamente a la eficiencia, y por ende al costo de panel. Es por eso que se proponen algunas APUS en donde el prensado sea con motor y un pistón hidráulico de doble función (que permite subir y bajar el pistón de forma autónoma). En la gata manual, centrar el pistón, armar la gata y después del prensado retirarla, ocupa mucho tiempo. Sin embargo, una prensa con pistón de doble función evitaría el montaje y desmontaje del mismo, que en estimaciones rápidas podría hasta triplicar la producción. En el diseño de la prensa, intervienen algunas variables, como el tamaño del pistón, el caudal de la bomba y la presión a la que se desee llegar. Por esta razón es complicado estimar una producción sin antes tener en cuenta un diseño del cual partir. (Tablas 28 a 35).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

106)



Figura 106 PB\_01. Panel base (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 28 APUS, PB\_01. Panel base, gata hidráulica mecánica.

<b>PB_01. PANEL BASE (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MECÁNICA</b>				
Unidad:	Panel			
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.62	0.62
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.64
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora		Total
Albañil	1	3.83		3.87
Ayudante de albañil	1	3.87		3.83
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			6	1.39
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.5	0.00	0.00
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.01
Costos directos				1.40
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				1.40
Total ofertado				1.40

107)

Tabla 29 APUS, PF\_01 - PF\_05. Panel 1% de fibras, gata hidráulica mecánica.

<b>PF_01 - PF_05. PANEL 1% DE FIBRAS (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MECÁNICA</b>				
Unidad:	Panel			
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.62	0.62
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.64
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora		Total
Albañil	1	3.83		3.87
Ayudante de albañil	1	3.87		3.83
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			6	1.39
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.5	0.00	0.00
Cola blanca	Litro	1	2.64	2.64
Fibras	1% de la tierra	1	0.25	0.25
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				2.90
Costos directos				4.29
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				4.29

Figura 107 PF\_01 - PF\_05. Panel 1% de fibras (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

108)



Figura 108 PC\_01. Panel 20% de cal (90x30x6 cm).

Tabla 30 APUS, PC 01. Panel 20% de cal, gata hidráulica mecánica.

PC_01. PANEL 20 % DE CAL (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MECÁNICA				
Unidad: Panel				
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.62	0.62
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.64
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora	Total	
Albañil	1	3.83	3.87	
Ayudante de albañil	1	3.87	3.83	
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			6	1.39
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.3	0.00	0.00
Cal	Libras	10	0.20	2.00
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				2.01
Costos directos				3.40
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				3.40
Total ofertado				3.40

109)



Figura 109 PC\_02. Panel 5% de cemento (90x30x6 cm).

Tabla 31 APUS, PC 02. Panel 5% de cemento, gata hidráulica mecánica.

PC_02. PANEL 5 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MECÁNICA				
Unidad: Panel				
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.62	0.62
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.64
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora	Total	
Albañil	1	3.83	3.87	
Ayudante de albañil	1	3.87	3.83	
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			6	1.39
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.45	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.025	8.15	0.20
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.22
Costos directos				1.61
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				1.61
Total ofertado				1.61

110)



Tabla 32 APUS, PC 03. Panel 10% de cemento, gata hidráulica mecánica.

<b>PC_03. PANEL 10 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MECÁNICA</b>				
Unidad: Panel				
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.62	0.62
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.64
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora	Total	
Albañil	1	3.83	3.87	
Ayudante de albañil	1	3.87	3.83	
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			6	1.39
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.4	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.05	8.15	0.41
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.42
Costos directos				1.81
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				1.81
Total ofertado				1.81

Figura 110 PC\_03. Panel 10% de cemento (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

111)



Tabla 33 APUS, PC 04. Panel 15% de cemento, gata hidráulica mecánica.

<b>PC_04. PANEL 15 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MECÁNICA</b>				
Unidad: Panel				
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.62	0.62
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.64
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora	Total	
Albañil	1	3.83	3.87	
Ayudante de albañil	1	3.87	3.83	
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			6	1.39
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.35	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.075	8.15	0.61
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.63
Costos directos				2.02
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				2.02
Total ofertado				2.02

Figura 111 PC\_04. Panel 15% de cemento (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

112)



Figura 112 PC\_05. Panel 20% de cemento (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 34 APUS, PC 05. Panel 20% de cemento, gata hidráulica mecánica.

PC_05. PANEL 20 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MECÁNICA				
Unidad: Panel				
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.62	0.62
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.64
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora	Total	
Albañil	1	3.83	3.87	
Ayudante de albañil	1	3.87	3.83	
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			6	1.39
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.3	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.1	8.15	0.82
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				0.83
Costos directos				2.22
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				2.22
Total ofertado				2.22

113)



Figura 113 PC\_06. Panel 25% de cemento (90x30x6 cm).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 35 APUS, PC 06. Panel 25% de cemento, gata hidráulica mecánica.

PC_06. PANEL 25 % DE CEMENTO (90x30x6 cm) / GATA HIDRÁULICA MECÁNICA				
Unidad: Panel				
Equipos y herramientas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/h	Total
Prensa y Cilindro cernidor	Hora	1	0.62	0.62
Carretilla y 2 palas	Hora	1	0.02	0.02
Subtotal				0.64
Mano de obra				
Descripción	Cantidad	Salario por hora	Total	
Albañil	1	3.83	3.87	
Ayudante de albañil	1	3.87	3.83	
Subtotal				7.7
Rendimiento (30-40%)			Ren/Gru	Tot/Gr
Subtotal			6	1.39
Transporte (1-5%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Peso/kg	Total
Subtotal				
Materiales (50-60%)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Tierra	Galón	5.3	0.00	0.00
Cemento	Saco	0.125	8.15	1.02
Agua	Litro	4	0.00355	0.01
Subtotal				1.03
Costos directos				2.42
Costos indirectos %			0.00%	0.00
Total				2.42
Total ofertado				2.42

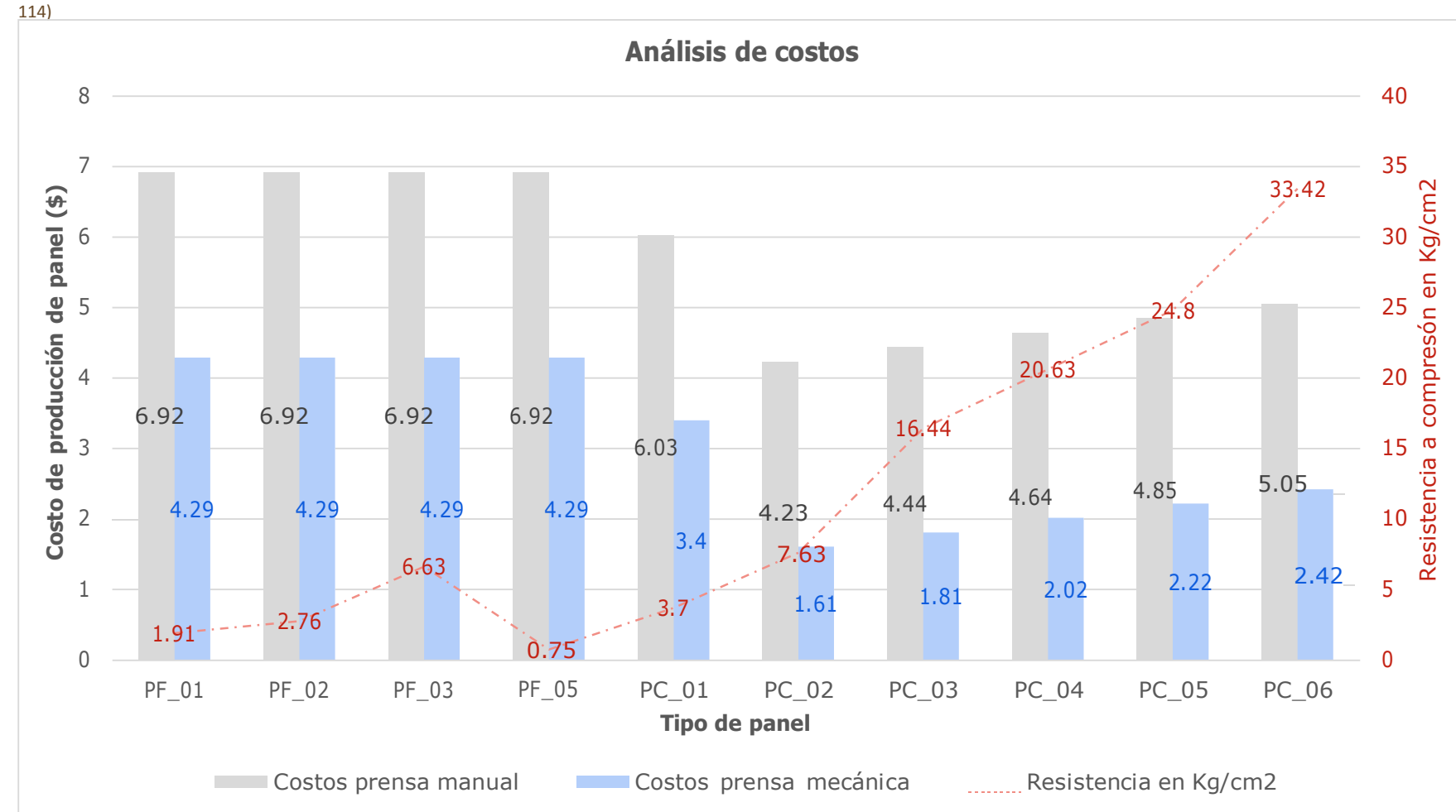


Figura 114 Diagrama de análisis de costos y la incidencia del tipo de prensa.

4.3.3. Vivienda contemporánea.

Farfán y Lopez (2023), exponen el presupuesto del sistema en construcción con paneles de tierra asumiendo un precio de \$6 dólares<sup>27</sup> por panel, con lo que logran establecer los siguientes precios por metro cuadrado.

- Construcción de cimentación con zapatas y vigas centradoras a 240\$.
- Construcción de cimentación con hormigón ciclopeo a 180\$

A parte, según la cámara de construcción del Ecuador, los precios por metro cuadrado de vivienda oscilan entre \$590 a \$1500 dólares para vivienda con acabados de primera calidad, mientras que para vivienda típica de clase media, el precio oscila alrededor de los \$365 dólares.

La tabla 36 compara los costos de construcción de vivienda planteada por el el Ministerio de Desarrollo

Urbano y Vivienda frente al sistema de Farfán y López (2023). En donde el sistema sandino con el uso de paneles de tierra logra precios bastante competitivos inclusive a nivel de vivienda social. También, la tabla 37, compara el panel de cierre que usa la investigación del sistema tipo sandino propuesto por Farfan y Lopez (2023) con las 3 variables de panel propuestas en el presente trabajo; con el objetivo de evaluar la incidencia del panel en el costo total de la vivienda.

Finalmente, en la tabla 38 se comparan costos de sistemas de cierre; en donde se evidencia la competitividad de los paneles BTC planteados, frente a sistemas de cierre contemporáneos.

<sup>27</sup> Asumen el precio de uno de nuestros paneles BTC (PC\_05. Panel 20% de cemento, gata manual 50 Toneladas) y se estima que asumen costos indirectos y mano de obra (de colocación) con respecto a nuestro precio; para llegar al valor de \$6.00.






Tabla 36 Análisis de costos de vivienda social de Ecuador.

Análisis de costos de vivienda social de Ecuador.				
Fotografías	Vivienda	Costo total de vivienda	Área en m2	Precio por m <sup>2</sup>
	Anteproyecto de vivienda tipo sandino de Farfan y Lopez (2023)	\$7.528,81	42	\$179,26
	Vivienda aislada - Juntos por ti MIDUVI (s.f)	\$12.488,08	49,77	\$250,92
	Vivienda 4D EP Ecuador estratégico (s.f)	\$44.909,12	221,44	\$202,80
	Vivienda 12D EP Ecuador estratégico (s.f)	\$160.271,18	626,16	\$255,96
	Vivienda 1D Casa para todos (s.f)	\$15.417,00	50	\$308,34

Tabla 37 Incidencia de cerramiento según tipo de panel en vivienda de Farfán y Lopez (2023)

Incidencia en precio de cerramiento según tipo de panel en vivienda de Farfán y Lopez (2023)								
Panel de cierre	Tipo de prensado	Precio de panel BTC por m <sup>2</sup>	Total de paredes en m <sup>2</sup>	Costro de paredes de cierre	Incidencia en el costo total	Costo total de vivienda	Área de vivienda en m <sup>2</sup>	Precio por m <sup>2</sup>
Panel PC_05 Adaptado	Prensa manual	\$22,22	70,11	\$1.558,00	20,69%	\$7.528,81	42	\$179,26
Panel PC_04	Prensa manual	\$17,93	70,11	\$1.256,79	17,39%	\$7.227,60	42	\$172,09
Panel PC_05	Prensa manual	\$18,70	70,11	\$1.311,32	18,01%	\$7.282,13	42	\$173,38
Panel PC_06	Prensa manual	\$19,44	70,11	\$1.363,25	18,59%	\$7.334,06	42	\$174,62
Panel PC_04	Prensa mecánica	\$8,22	70,11	\$576,46	8,80%	\$6.547,27	42	\$155,89
Panel PC_05	Prensa mecánica	\$8,96	70,11	\$628,39	9,52%	\$6.599,20	42	\$157,12
Panel PC_06	Prensa mecánica	\$9,70	70,11	\$680,33	10,23%	\$6.651,14	42	\$158,36

Tabla 38 Análisis de costo de sistema de cierre.

Análisis de costo de sistema de cierre.		
Imagen	Material	Precio por m <sup>2</sup>
	Panel BTC de cierre por Farán y Lopez (2023).	\$22,22
	Panel BTC de cierre mas favorable. PC_04 con prensa hidráulica.	\$8,22
	Ladrillo semipesado de 10x20x40 cm. Aparejo sogá.	\$15,97
	Mampostería de bloque de 40x20x15. E= 2,5 cm. Mortero 1:6.	\$10,82
	Adobe común de 10x15x30 cm	\$11,37

115)

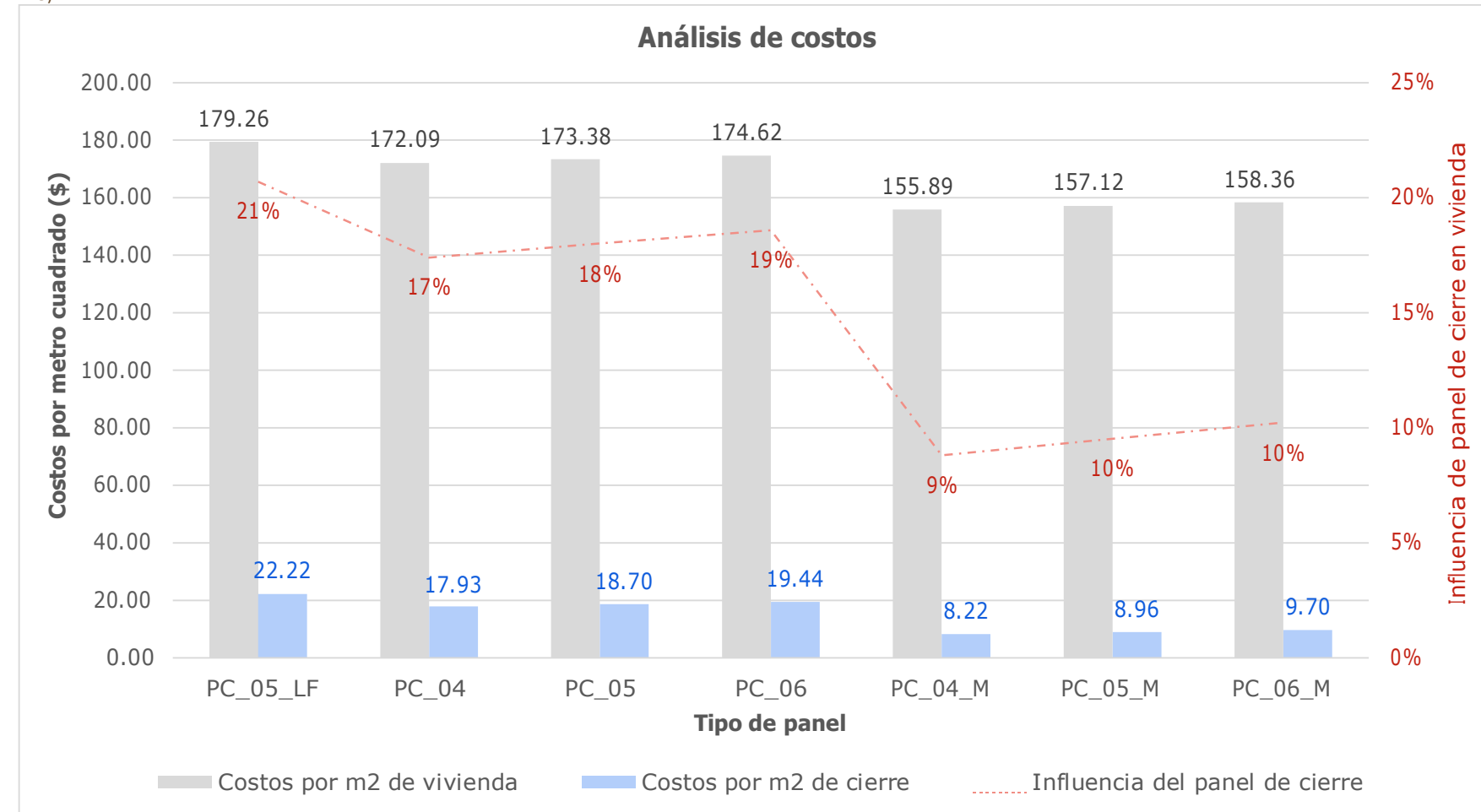


Figura 115 Diagrama de costos por m<sup>2</sup> de cierre y la incidencia en el precio por m<sup>2</sup> de la vivienda.

4.4. Conclusiones

Toda nuestra investigación ha permitido discernir ciertos puntos clave en base a eficiencia y costes de los paneles planteados. A pesar de que los paneles que cumplieron las normativas de compresión solo fueron los de 15, 20 y 25%, se explicó el coste de todas las variantes planteadas. Puesto que, tener un panel base solo con tierra y agua puede mostrarnos claramente cuánto sube el coste por cada aditivo. También, los paneles con aditivos de fibras pueden aportar información a la adición de las mismas y el coste que repercutirá puesto que dichos paneles también tienen potencial de ser estabilizados; sin embargo, la limitante de nuestra investigación fue la presión de prensado. A parte, cabe recalcar algunos puntos importantes:

- El diseño del cilindro cernidor es extremadamente eficiente, siempre y cuando la tierra se encuentre seca<sup>28</sup>.

- La prensa hidráulica con gata manual presenta inconvenientes que pueden solucionarse con el uso de un pistón de doble función autónomo.
- La producción de paneles para una vivienda social no es sustentable por el costo de maquinaria inicial. Sin embargo, si se plantea como un proyecto de comunidad los precios se reducen, puesto que el costo total de toda la maquinaria no llega a cantidades representativas si hablamos de producción en masa.
- Una prensa manual no es viable para formatos de BTC mayores a tamaños de mampostería convencional, por motivo de la baja carga de compresión por cm<sup>2</sup> durante el prensado.

<sup>28</sup> Se necesita tener en consideración el secado previo a la construcción para no elevar costos por tiempo de secado.



## Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Conclusiones generales

Después del estudio y fabricación de paneles de BTC tipo sandino, se puede notar que las diferentes variables de la tierra pueden cambiar en gran medida los resultados; independiente de si se usa las mismas proporciones, presiones o aditivos. Por lo que, se adjunta un catálogo en los anexos que contemple las variables más pertinentes según nuestra investigación para la fabricación de bloques o paneles de tierra. Con intención de convertir al catálogo en una guía metodológica de investigación y fabricación.

La caracterización mecánica del panel BTC hace uso de la normativa NTC 5324 para clasificar 3 muestras del panel en la categoría de BTC 20. Sin embargo, el resto de paneles no llegan a cumplir estos requisitos (Tabla 39). Cabe recalcar que los paneles BTC tipo sandino con menores espesores permiten mayor estabilidad, independientemente de los aditivos. Con respecto a la caracterización física, se clasifican por su composición en familias de

paneles por el tipo de aditivos: cementantes, fibras naturales y otros. Al igual que por las características del suelo tales como: granulometría, plasticidad, compactabilidad, ph, color e inclusive estabilidad; sintetizadas en el Catálogo.

La presión de 18,52 kg/cm<sup>2</sup> para fabricar BTC de 6x30x90 cm y únicamente el uso de tierra, no es suficiente para estabilizar paneles con la esbeltez presentada. Sin embargo, el uso del cemento en los paneles tipo sandino logra estabilizar satisfactoriamente 3 variables con concentraciones al 15%, 20% y 25% que corresponden a las nomenclaturas de PC\_04, PC\_05 y PC\_06 respectivamente (Tabla 39). La propuesta de paneles BTC de la presente investigación en conjunto con el sistema sandino adaptado por Farfán y Lopez (2023), demuestra ser desde 13% más competitiva a nivel económico con relación a otros sistemas contemporáneos. Pues-

to que, el precio del metro cuadrado del sistema sandino de Farfán y Lopez (2023) con el uso de los paneles de tierra de esta investigación, logran precios de \$240 y \$180 dólares americanos por m<sup>2</sup>. Sin embargo, permutar los paneles de cierre con las variables más favorables<sup>29</sup> de esta investigación reducen el costo a \$155.89 dólares por m<sup>2</sup>. Por último, como respuesta a la hipótesis planteada, se concluye que los aditivos habituales de la industria no pueden ser reemplazados por los aditivos convencionales de la construcción en tierra<sup>30</sup> sin vulnerar las características mecánicas y económicas. Puesto que, el cemento incide directamente en mejorar la propiedades de resistencia a compresión; además de aportar con un menor coste a la producción del panel BTC. Sin embargo, su impacto ambiental con respecto a sistemas tradicionales se ve vulnerado.

<sup>29</sup> Paneles PC\_04, , PC\_05 y PC\_06 prensados mecánicamente. (Tabla 39)

<sup>30</sup> Se asume que los aditivos convencionales de la construcción tradicional podrían presentar mejores resultados si se experimentan con mayores presiones.

Tabla 39 Síntesis de resultados por cada tipología de panel experimentado.

COD	Agua	Arena gruesa y Gravillas	Arena fina y Limo	Arcilla	Material Secundario			Peso (kg)	Resistencia med. a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia máx. a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Costo prensa manual	Costo prensa mecánica
					Descripción	Proporción	Detalle					
PB_01	15	43	35	22	Panel base	-	-	25	-	-	4,03	1,4
PF_01	15	43	35	22	Goma Blanca Aserrín	5% 5%	Relación volumétrica	24	1,91	1,96	6,92	4,29
PF_02	15	43	35	22	Goma Blanca Cabuya	5% 5%	Relación volumétrica Rangos < 2.5cm	24	2,76	4,21	6,92	4,29
PF_03	15	43	35	22	Goma Blanca Carrizo	5% 5%	Relación volumétrica Rangos < 2.5cm	24	6,63	9,56	6,92	4,29
PF_04	15	43	35	22	Goma Blanca Carrizo	5% 5%	Relación volumétrica Esqueleto de carrizo	24	-	-	6,92	4,29
PF_05	15	43	35	22	Goma Blanca Totorá	5% 5%	Relación volumétrica Rangos < 2.5cm	24	0,75	0,8	6,92	4,29
PC_01	20	43	35	22	Cal	20%	Relación volumétrica	25	3,7	4,59	6,03	3,4
PC_02	20	43	35	22	Cemento	5%	Relación volumétrica	26	7,63	10,39	4,23	1,61
PC_03	20	43	35	22	Cemento	10%	Relación volumétrica	26	16,44	18,15	4,44	1,81
PC_04	20	43	35	22	Cemento	15%	Relación volumétrica	26	20,63	21,41	4,64	2,02
PC_05	20	43	35	22	Cemento	20%	Relación volumétrica	26	24,8	40,59	4,85	2,22
PC_06	20	43	35	22	Cemento	25%	Relación volumétrica	26	33,42	36,63	5,05	2,42

## 5.2. Recomendaciones

- El uso de una prensa hidráulica con mayor rendimiento y eficiencia mecánica es indispensable para mejores resultados.
- Los cofres para BTC deben fabricarse en acero para evitar pandeos.
- Los paneles BTC con adición de cemento no necesitan altas presiones. Sin embargo, es necesario el uso de múltiples cofres para lograr un fraguado inicial que permite el transporte y manipulación; puesto que se pueden desencofrar cada 2 a 6 horas dependiendo de la concentración de cemento.
- La zaranda manual de tierra es muy ineficiente, por lo que el uso de un cilindro cernidor tipo mecánico es indispensable.
- Los tipos de arcilla juegan un papel importante al momento de agregar estabilizantes, por lo que se recomienda estudiar estabilizantes para diferentes tipos de arcilla.

### 5.3. Futuras líneas de investigación

- Experimentar presiones superiores en fabricación de paneles BTC tipo sandino.
- Investigar el comportamiento de los diferentes tipos de arcilla al momento de fabricar BTC.
- El ph no tiene importantes fuentes de investigación que relacionen la idoneidad del suelo respecto a la fabricación de BTC.
- Investigar cómo el color puede permitir la identificación de suelos con aptitudes pertinentes para BTC.
- Plantear la incorporación de temperatura o bacterias en la fabricación de BTC que permitan mejorar las capacidades físicas y mecánicas.
- Experimentar la impermeabilización de paneles a través de biopolímeros.

### Referencias



- ABNT. (1989). Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Río de Janeiro, NBR10832 NB1221.
- ABNT. (2012). Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Río de Janeiro, NBR 10833 NB1222.
- ABNT. (2012). Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Río de Janeiro, NBR 8491 EB1481.
- ABNT. (2012). Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Río de Janeiro, NBR 8492 MB1960.
- Acosta, M. E., & Peciña, D. (2022, March 29). Mejorando vidas en Ecuador: Vivienda social inclusiva. Blogs iadb. Retrieved November 30, 2022, from <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/mejorando-vidas-en-ecuador-vivienda-social-inclusiva/>
- Arquinatural Ong. (2015, Junio). Construir en barro. Arq. Gernot Minke . CONABEE . Parte 1 [Archivo de Vídeo]. [https://www.youtube.com/watch?v=M7HEocLfMYc&ab\\_channel=ArquinaturalOng](https://www.youtube.com/watch?v=M7HEocLfMYc&ab_channel=ArquinaturalOng)
- Barbosa Basto, C. G., & Romero Cajamarca, S. A. (2017). DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA CAOLINÍTICA Y BENTONÍTICA EN SUELOS COS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO APLICANDO DIFERENTES GRADIENTES TÉRMICOS. [Tesis de Grado, Universidad de Católica de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Colombia. Retrieved 2017, from <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14812/1/DETERMINACION-DE-LA-SUPERFICIE-ESPECIFICA-CAOLINITICA-EN-SUELOS-CAOLINITICOS-Y-BENTONITICOS-MEDIANTE-LA-APLICACION-DE-AZUL-DE-METILENO-APLICANDO-DIFERENTES-GRADIENTES-TERMICOS.pdf>

- Bermeo, J., Juella, D., Lumbo, A., & Peña Herrera, C. (2021, 10 29). Determinación del pH en diferentes tipos de Arcillas. <https://es.scribd.com/document/407062001/2-pH-de-las-Arcillas-docx>
- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011, Julio). Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la construcción, 63(523), 5-20. 10.3989/ic.10.046
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaqui, C. (2011, septiembre 30). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Informes De La Construcción, 63(523), 41-50. <https://doi.org/10.3989/ic.10.017>
- Cabrera, S. P., Aranda Jiménez, Y. G., Suárez Domínguez, E. J., & Rotondaro, R. (2020, Diciembre). BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) ESTABILIZADOS CON CAL Y CEMENTO. EVALUACIÓN DE SU IMPACTO AMBIENTAL Y SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN. Revista hábitat sustentable, 10(2), 70-81. <http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05>
- CAMICON. (2019, Diciembre). Listado de precios de materiales de construcción. CAMICON – Cámara de la Industria de la Construcción. Retrieved December 19, 2022, from <https://www.camicon.ec/>
- Campo Baeza, A. (2020). Estereotómico vs Tectónico. In Trece trucos de arquitectura (pp. 2 - 7). El propio autor. 978-84-09-22808-9
- Carazas Aedo, W. (2017). Test Carazas: manual pedagógico : ensayos de correlación de las tres fases de la materia tierra. A+terre. <https://redproterra.org/wp-content/uploads/2021/01/Manual-Test-Carazas.df>
- Cárdenas Alvarez, A. A., & Sarmiento Avilés, J. I. (2017, octubre). EL TAPIAL ALIVIANADO. [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. Retrieved di-

- ciembre 01, 2022, from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28424>
- Castro Méndez, C. E. (2018). Tabla Munsell Teoría y práctica [Cuarto Taller, Presentación del proyecto de investigación Color del Suelo, aspectos teóricos y sus aplicaciones.]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. [https://www.researchgate.net/publication/328429023\\_TABLA\\_MUNSELL\\_TEORIA\\_Y\\_PRACTICA](https://www.researchgate.net/publication/328429023_TABLA_MUNSELL_TEORIA_Y_PRACTICA)
  - Centro de Investigación Hábitat y Energía y Instituto de Arte Americano FADU – UBA. (2012). Construcciones con tierra 5 (5th ed.). Centro de Investigación Hábitat y Energía Secretaría de investigaciones Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo Universidad de Buenos Aires. <https://core.ac.uk/download/pdf/151807279.pdf#page=115>
  - Ciancaglini, N. (2010). Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. INTA EEA, San Juan. [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\\_R001\\_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf)
  - Cid, J., Mazarrón, F. R., & Cañas, I. (2011, September 30). Las normativas de construcción con tierra en el mundo | Informes de la Construcción. Informes de la Construcción. Retrieved November 14, 2022, from <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1262>
  - CRATerre, Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S., & Vitoux, F. (1990). Construire en terre (C. E. Sánchez & C. A. Ospina, Trans.; En español ed., Vol. Tomo 1). Fondo rotatorio editorial. <https://archive.org/details/6678-construir-con-tierra/page/n4/mode/1up>

- Das, B. M. (2013). Fundamentals of Geotechnical Engineering. Cengage Learning. [https://issuu.com/cengagelatam/docs/fundamentos\\_de\\_ingenieria\\_low\\_1\\_iss](https://issuu.com/cengagelatam/docs/fundamentos_de_ingenieria_low_1_iss)
- Del río Muñoz, M., & Sainz Esteban, A. (2011). LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EN TIERRA. In Construcción con tierra: tecnología y arquitectura : Congresos de Arquitectura de Tierra en Cuenca de Campos, 2010/11 (pp. 57-68). Cátedra Juan de Villanueva, E.T.S. de Arquitectura de Valladolid. <http://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones.html>
- Domínguez Soto, J. M., Román Gutiérrez, A. D., Prieto García, F., & Acevedo Sandoval, O. (2012, Febrero). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(1). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000100010](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000100010)
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014, Diciembre). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. Revista ingeniería de construcción, 29(3), 234-254. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>
- Farfan, C., & Lopez, C. (2023). SISTEMA CONSTRUCTIVO DE VIVIENDAS CON PANELES BTC Y BAMBÚ.
- Fernández Navarro, J. M. (1962). Plasticidad de las arcillas (Vol. 1). <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://boletines.secv.es/upload/20120210113459.196201449.pdf>
- Galíndez, F. (2007). Bloques de tierra comprimida (BTC) sin adición de cemento. <https://docplayer.es/27465866-Bloques-de-tierra-comprimida-btc-sin-adicion-de-cemento.html>
- García Romero, E., & Suárez Barrios, M. (2008, 09 02). LAS ARCILLAS: PROPIEDADES Y USOS. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://nutritime.com.br/arquivos\\_internos/ar-](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://nutritime.com.br/arquivos_internos/ar-)

tigosBK/Arcillas\_%20propiedades%20y%20usos.pdf

- Gatti, F. (2012, septiembre 05). ARQUITECTURA y CONSTRUCCIÓN en TIERRA Estudio Comparativo de las Técnicas Contemporáneas en Tierra. [Tesis de Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura Construcción e Innovación Tecnológica, Universidad Politécnica de Catalunya]. Retrieved diciembre 01, 2022, from <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf>
- Grim, R. E. (1953). Clay mineralogy. McGraw-Hill, New York.
- Guerrero Baca, L. F. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva (2nd ed., Vol. 20).
- Guerrero Baca, L. F. (2007). Arquitectura en tierra Hacia la recuperación de una cultura constructiva. In Apuntes (2nd ed., Vol. 20, pp. 182-201). Pontificia Universidad Javeriana. Luz Marina Alzate Medina. <http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v20n2/v20n2a02.pdf>
- Guerrero Baca, L. F. (2011, Junio 6). Pasado y porvenir de la arquitectura de tapia | Bitácora Arquitectura, (22), 6-13. Revistas UNAM. Retrieved Noviembre 12, 2022, from <https://revistas.unam.mx/index.php/bitacora/article/view/25519>
- Ibañez Asensio, S., Moreno, R., Gisbert Blanquer, H., & Juan Manuel. (2011). Silicatos. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/12888>
- ICONTEC. (2004). Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, NTC 5324.
- INACAP. (n.d.). Propiedades índices de los suelos y características del hormigón fresco y endurecido.

Retrieved 11 14, 2022, from [http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Construccion/G01\\_Limites\\_de\\_Atterberg.pdf](http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Construccion/G01_Limites_de_Atterberg.pdf)

- Lobejon Yravedra, A. (2020). Martin Rauch: ¿Innovación o marketing? [Tesis de Grado, Universidad Politécnica de Madrid]. Retrieved 12 27, 2022, from [https://oa.upm.es/66803/1/TFG\\_Ene21\\_Lobejon\\_Yravedra\\_Adolfo.pdf](https://oa.upm.es/66803/1/TFG_Ene21_Lobejon_Yravedra_Adolfo.pdf)
- Marín Serna, G. L., Pereira Morales, C. A., Maycotte Morales, C. C., Restrepo, B. E., Francesco Mauro, Calle Montes, A., Esther Velarde, M. J., Álvarez Mejía, M. L., & Portela Guarín, H. (2011). Edafología 1 (Primera ed.). Espacio gráfico comunicaciones S.A. <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Medina, L., & Rodríguez, R. (1986). Sistemas constructivos utilizados en Cuba (Vol. 1). Departamento de construcciones. Facultad de ingeniería civil.
- Mejía Córdova, A. A. (2019). RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, FLEXIÓN Y ABSORCIÓN EN BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA CON ADICIÓN DE FIBRA DE SEUDOTALLO DE PLÁTANO. [Tesis de Grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional de la UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23080>
- Michenry Jr., Paul Graham (2005) Adobe, cómo construir fácilmente. 3ra reimpr. México: Trillas.
- MIDUVI. (s.f.). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Recuperado en Marzo 20, 2023. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/TIPOLOG%C3%BDAS-DE-VIVIENDA-APROBADAS.pdf>
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2017, 04 07). NORMA E.080 DISEÑO Y

CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/  
[https://procurement-notices.undp.org/view\\_file.cfm?doc\\_id=109376](https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376)

- Minke, G. (2005). Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. Fin de Siglo. 9974-49-347-1
- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). Fundamentals of Soil Behavior (Vol. 3). New York: John Wiley & Sons. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58321042/kupdf.net\\_fundamentals-of-soil-behavior-jk-mitchell-amp-k-soga-libre.pdf?1549960816=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DKupdf\\_net\\_fundamentals](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58321042/kupdf.net_fundamentals-of-soil-behavior-jk-mitchell-amp-k-soga-libre.pdf?1549960816=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DKupdf_net_fundamentals)
- PROTERRA, CYTED, & Cevallos Salas, P. (2003). El Bahareque en zonas sísmicas. In Técnicas Mixtas de Construcción con Tierra (pp. 37-51). Coordinación del Proyecto XIV.6 PROTERRA del CYTED. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55573655/Tecnicas\\_Mixtas\\_de\\_Construccion\\_con\\_Tierra\\_2003-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1668442150&Signature=ZgrJ2JhZGbPwEiN8Zl~n-fooMoOxSO8gMw4TvxSQhzqVv4DLGJNd5Jsox4j4abg8RgS8FdOpZJW3XZ5IP-1h4cozTZq38h-gbltq0AHEoRUsP](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55573655/Tecnicas_Mixtas_de_Construccion_con_Tierra_2003-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1668442150&Signature=ZgrJ2JhZGbPwEiN8Zl~n-fooMoOxSO8gMw4TvxSQhzqVv4DLGJNd5Jsox4j4abg8RgS8FdOpZJW3XZ5IP-1h4cozTZq38h-gbltq0AHEoRUsP)
- Quizhpe Vacacela, P. F. (2016, Mayo 30). PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO BAHAREQUE EN GALLUCHAQUI, PARA LA VIVIENDA TRADICIONAL DE LA CULTURA SARAGURO. [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. Retrieved Noviembre 23, 2022, from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24776>
- Real academia española. (2021). vernáculo, vernácula | Definición |. Diccionario de la lengua española. Retrieved Octubre 14, 2022, from <https://dle.rae.es/vern%C3%A1culo?m=form>

- Roux Gutiérrez, R. S., & Espuna Mújica, J. A. (2018). BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA ADICIONADOS CON FIBRAS NATURALES (1st ed.). Editorial UAT. <https://libros.uat.edu.mx/index.php/librosuat/catalog/view/29/19/71-1>
- Rubio Gutiérrez, A. M. (2010, Julio). La densidad aparente en suelos forestales del parque natural Los Alcornocales. [Tesis de Grado, Universidad de Sevilla]. Repositorio Institucional de la Universidad de Sevilla. <http://hdl.handle.net/10261/57951>
- Samaniego Galindo, C. E., & Sarmiento Moscoso, N. (2019, julio 12). Evaluación de tapial estabilizado con cemento ante la adición de aditivos comerciales. [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. Retrieved diciembre 01, 2022, from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32993>
- San Bartolomé, Á., & Quiun, D. (2015, marzo). Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe típicas del Perú. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 30(1), 71-80. <http://ve.scielo.org/pdf/rfiucv/v30n1/art08.pdf>
- Sánchez Delgado, A. Y., & Grisales Simbasica, J. (2014, Marzo 6). Propiedades físicas y mecánicas de los suelos. Academia.edu. Retrieved Diciembre 1, 2022, from [https://www.academia.edu/6386237/PROPIEDADES\\_FISICAS\\_Y\\_MECANICAS\\_DE\\_LOS\\_SUELOS](https://www.academia.edu/6386237/PROPIEDADES_FISICAS_Y_MECANICAS_DE_LOS_SUELOS)
- Sierra B, C. (1982). La acidez y alcalinidad de los suelos (ph). Osorno: Boletín Técnico - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/30120>
- Suárez Benítez, R., Rocha Jiménez, J. F., & Peralta Ladino, H. C. (2021, Septiembre 03). Bloques de tierra comprimida con adición de fibras vegetales como alternativa en la arquitectura de bajo impac-

- to ambiental. IDEA Construcción Y Madera, 3, 58-67. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/idea/article/view/3950/4243>
- Togoeres, R. N. (2011, abril 13). Sistema Constructivo Novoa .[Archivo de Vídeo]. Youtube. Retrieved 01 20, 2023, from [https://www.youtube.com/watch?v=mD3ChiDcbIA&ab\\_channel=ReinaldoN.Togoeres](https://www.youtube.com/watch?v=mD3ChiDcbIA&ab_channel=ReinaldoN.Togoeres)
  - Turégano, J. A., Hernández, M. A., & García, F. (2003). La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo. <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/36930061/08-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1669882781&Signature=ep2MEAs6EpLP2hYgBIK8W13bShdtu9OcqNDIZM~VERDLFH7NQekemFhPFSHXuxTYMmX-q~MR0b-WCH0xGMiY5zAnk-wgaahMv9Gb4yp85PDrg9skNg4k7OPN0lajJPmcktmIszYBVSKnhpfcI-wu~OijE>
  - Vega, M., Aguirre Deleg, J., & Pañega Paredes, F. (2012). Diseño de Paneles Prefabricados en Tierra. [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/598>
  - Vieira, M., Negrini, F., & Falleiros, A. (2011). Tapia. Técnicas de construcción con tierra. Bauru - SP FEB - UNESP / Proterra, 47. [https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4a\\_PP-Tecnicas-de-construccion-con-tierra\\_2011.pdf](https://redproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4a_PP-Tecnicas-de-construccion-con-tierra_2011.pdf)
  - Yepez Tambaco, D. A. (2012, Mayo 09). Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable. T-PUCE-0462. Retrieved Noviembre 12, 2022, from <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/24>

- **Figura 001** Marín Serna et al. (2011). Composición del suelo [Diagrama]. Edafología 1 (p.21). <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf> **031**
- **Figura 002** Ciancaglini, N. (2010). Triángulo textural de USDA [Diagrama].Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico (p.2). [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\\_R001\\_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf) **032**
- **Figura 003** Ibañez Asensio et al., (2011). Esquema de la disposición espacial de los cationes y aniones [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.2). <http://hdl.handle.net/10251/12888> **032**
- **Figura 004** Ibañez Asensio et al., (2011). Oxígenos compartidos [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.2). <http://hdl.handle.net/10251/12888> **032**
- **Figura 005** Ibañez Asensio et al., (2011). Óxidos cationes [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.2). <http://hdl.handle.net/10251/12888> **033**
- **Figura 006** Ibañez Asensio et al., (2011). Disposición de los tetraedros [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.3). <http://hdl.handle.net/10251/12888> **033**
- **Figura 007** Ibañez Asensio et al., (2011). Esquema de disposición [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.4). <http://hdl.handle.net/10251/12888> **033**
- **Figura 008** Ibañez Asensio et al., (2011). Disposición espacial de los tetraedros [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.4). <http://hdl.handle.net/10251/12888> **033**

- **Figura 009** Ibañez Asensio et al., (2011). Disposición de las cadenas de tetraedros [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.4). <http://hdl.handle.net/10251/12888>  
**034**
- **Figura 010** Ibañez Asensio et al., (2011). Disposición espacial de las cadenas dobles [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.5).  
<http://hdl.handle.net/10251/12888>  
**034**
- **Figura 011** Ibañez Asensio et al., (2011). Disposición de los tetraedros en la lámina de siloxano [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.5). <http://hdl.handle.net/10251/12888>  
**034**
- **Figura 012** Ibañez Asensio et al., (2011). Octaedro y esquema en planta [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.6). <http://hdl.handle.net/10251/12888>  
**034**
- **Figura 013** Artes cerámicas. (2020). Capas octaédricas [Diagrama]. Artes cerámicas. <https://artesceramicas.com/2020/12/25/filosilicatos/>  
**034**
- **Figura 014** Artes cerámicas. (2020). Estructura TO 1:1 [Diagrama]. Artes cerámicas. <https://artesceramicas.com/2020/12/25/filosilicatos/>  
**034**
- **Figura 015** Artes cerámicas. (2020). Estructura TO 2:1 [Diagrama]. Artes cerámicas. <https://artesceramicas.com/2020/12/25/filosilicatos/>  
**034**
- **Figura 016** Artes cerámicas. (2020). Estructura TO 2:1:1 [Diagrama]. Artes cerámicas. <https://artesceramicas.com/2020/12/25/filosilicatos/>  
**035**

- **Figura 017** Ibañez Asensio et al., (2011). Disposición espacial [Diagrama]. Estructura general de los silicatos (p.6). <http://hdl.handle.net/10251/12888>  
**035**
- **Figura 018** INACAP, (s.f.). Estados de consistencia de los suelos [Diagrama]. Propiedades índices de los suelos y características del hormigón fresco y endurecido (p.2). [http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Construccion/G01\\_Limites\\_de\\_Atterberg.pdf](http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/alumno/Construccion/G01_Limites_de_Atterberg.pdf)  
**037**
- **Figura 019** Mitchell y Soga (2005). Respuesta de los silicatos a tratamientos diferenciadores (separaciones en nm)[Diagrama]. Fundamentals of Soil Behavior. [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58321042/kupdf.net\\_fundamentals-of-soil-behavior-jk-mitchell-amp-k-soga-libre.pdf?1549960816=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DKupdf\\_net\\_fundamentals](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58321042/kupdf.net_fundamentals-of-soil-behavior-jk-mitchell-amp-k-soga-libre.pdf?1549960816=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DKupdf_net_fundamentals)  
**038**
- **Figura 020** [Fotografía de Almacenes, Templo de Ramses II, Egipto, 1300 a.C.] (2014). Auroville Earth Institute. Recuperado el 30 de noviembre de 2022 de: [https://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded\\_pics/2-home-egypt.jpg](https://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/2-home-egypt.jpg)  
**044**
- **Figura 021** Tierra de distintos lugares para la investigación, Cuenca y Pucará. [Fotografía]. Cuenca.  
**044**
- **Figura 022** Semiliki (2006). Gran Mezquita de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso [Fotografía]. Wikimedia Commons. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d6/BoboDioulasso-GrandMosqueN.JPG>  
**045**
- **Figura 023** Gao, J. (1999). Shibam Wadi Hadhramaut Yemen [Fotografía]. Wikimedia Commons. [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Shibam\\_Wadi\\_Hadhramaut\\_Yemen.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/Shibam_Wadi_Hadhramaut_Yemen.jpg)  
**045**

- **Figura 024** Viviendas vernáculas Chinas (2017). Tulou, China [Fotografía]. Creative Commons. Archdaily. [https://images.adsttc.com/media/images/5887/579b/e58e/ce50/9100/024c/large\\_jpg/3051644039\\_7fe8b0263c\\_o.jpg?1485264787](https://images.adsttc.com/media/images/5887/579b/e58e/ce50/9100/024c/large_jpg/3051644039_7fe8b0263c_o.jpg?1485264787) **045**
- **Figura 025** Curva granulométrica [Diagrama]. **046**
- **Figura 026** Gatti, Fabio (2012). Rueda de técnicas constructivas en tierra [Diagrama]. Tesis para Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura Construcción e Innovación Tecnológica, Barcelona. (p.22) <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf> **050**
- **Figura 027** Proyecto CYTED XIV. 1 (1995). Centro de hilado de Morochos [Fotografía] Habiterra (p.171), tomo 3, Imbabura, Ecuador. **051**
- **Figura 028** Jurado, C. Samaniego, N. (2016). Casa de Tapial en Paute [Fotografía] Tesis de grado.- Evaluación de tapial estabilizado con cemento ante la adición de aditivos comerciales. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/32993> **051**
- **Figura 029** CRATerre, Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S., & Vitoux, F. (1990). Herramientas para tapial [Diagramas] Construir con tierra (p.21), tomo 1, Bogotá, Colombia. <https://archive.org/details/s/6678-construir-con-tierra/mode/1up> **052**
- **Figura 030** Archivo INPC, Jim Belote, Linda Belote, Fundación para el Desarrollo Social Integral Jatari y Yomara Jiménez . (2003). Vivienda antigua de los Saraguros [Fotografía] Memoria oral del pueblo saraguro (p.26) Saraguro, Loja. <https://mail.inpc.gob.ec/pdfs/Publicaciones/Memoria%20Saraguro-peq.pdf> **053**

- **Figura 031** Henneberg de León, Andrea Mara . (2015). Casa rural hecha con manufactura nueva, Zulia [Fotografía] Construcción con tierra: investigación y documentación. Editor:Universidad de Valladolid. Cátedra Juan de Villanueva (p.237) Venezuela. <https://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2015/024henneberg.pdf> **053**
- **Figura 032** Quizhpe Vacacela, Pablo Favian (2015). Técnica de bahareque de galluchaqui [Diagrama] Tesis del grado de magíster.- PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO BAHAREQUE EN GALLUCHAQUI, PARA LA VIVIENDA TRADICIONAL DE LA CULTURA SARAGURO.(p.28) Saraguro. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/24776> **054**
- **Figura 033** Vivienda de adobe [Fotografía]. Azuay, Cuenca. **054**
- **Figura 034** CRATerre, Doat, P., Hays, A., Houben, H., Matuk, S., & Vitoux, F. (1990). Tipos de adoberas [Diagramas] Construir con tierra (p.151), tomo 1, Bogotá, Colombia. <https://archive.org/details/s/6678-construir-con-tierra/mode/1up> **055**
- **Figura 035** Swift, David (s.f) Muros de tapial en la Biblioteca Sublette County [Fotografía] Pinedale, Wyoming, EE. UU. Recuperado el 30 de noviembre de 2022 de: <https://clbarchitects.com/projects/sublette-county-library-addition/> **056**
- **Figura 036** [Fotografía “Back 40” House, USA] (s.f). Tesis para Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura Construcción e Innovación Tecnológica, Barcelona. (p.50). Recuperado el 01 de diciembre de 2022 de: <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf> **056**

- **Figura 037** [Diagrama muro de tapial post-tensado] (s.f). Tesis para Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura Construcción e Innovación Tecnológica, Barcelona. (p.51) Recuperado el 01 de diciembre de 2022 de: <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf> **057**
- **Figura 038** Minke, Gernot (2005) Prototipo para una vivienda de bajo costo con muros de tapial reforzado con bambú 1978, Guatemala. [Diagrama] Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. (p.166). <http://permaconstruccion.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual-Construccion-En-Tierra-Minke.pdf> **058**
- **Figura 039** Minke, Gernot (2005) Prototipo para una vivienda de bajo costo con muros de tapial reforzado con bambú 1978, Guatemala. [Fotografía] Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. (p.167). <http://permaconstruccion.org/wp-content/uploads/2017/06/Manual-Construccion-En-Tierra-Minke.pdf> **058**
- **Figura 040** Fernández Santos-Díez, Héctor (s.f) Piscina Municipal de Toro / Vier Arquitectos [Fotografía]. Toro, Zamora, España. Recuperado el 30 de noviembre de 2022 de: <https://www.archdaily.cl/cl/02-82785/piscina-interior-en-toro-vier-arquitectos/512a236ab3fc4b11a7008893-piscina-interior-en-toro-vier-arquitectos-foto> **058**
- **Figura 041** Bühler, Beat (s.f). Casa Rauch.[Fotografía]. Schlins, Austria. Recuperado el 30 de noviembre de 2022 de: <https://arquitecturaviva.com/obras/casa-rauch> **058**
- **Figura 042** Bühler, Beat (s.f). Escalera de Casa Rauch.[Fotografía]. Schlins, Austria. Recuperado el 01 de diciembre de 2022 de: <https://www.architonic.com/es/project/boltshauser-architekten-rammed-earth-house-rauch-family-home/5100620> **058**

- **Figura 043** [Fotografía de Jardín de infancia Baya, Sudáfrica](s.f). Recuperado el 01 de diciembre de 2022 de: <https://www.lehmtonerde.at/en/projects/project.php?pid=52> **058**
- **Figura 044** Parc naturel régional Livradois-Forez (s.f). Apisonamiento mecánico de tapial [Diagrama]. Saint-Gervais-sous-Meymont. Recuperado el 01 de diciembre de 2022 de: <http://www.pise-livradois-forez.org/spip.php?page=expo4> **059**
- **Figura 045** Iwan Baan (2010-2014). Prefabricación en el edificio Ricola Kräuterzentrum (Herb Center) [Fotografía]. Arquitectura Viva. Laufen, Suiza. <https://arquitecturaviva.com/obras/edificio-ricola-krauterzentrum#lg=1&slide=8> **059**
- **Figura 046** [Fotografía de Imprenta Gugler] (2019). Terra Award. Recuperado el 09 de diciembre de 2022 de: <http://terra-award.org/project/printing-plant-gugler/?lang=es> **059**
- **Figura 047** Iwan Baan (2014). Edificio Ricola Kräuterzentrum (Herb Center) [Fotografía]. Archdaily. Laufen, Suiza. [https://www.archdaily.com/634724/ricola-krauterzentrum-herzog-and-de-meuron/55627dc3e58ece07f900030e-ricola-krauterzentrum-herzog-and-de-meuron-image?next\\_project=no](https://www.archdaily.com/634724/ricola-krauterzentrum-herzog-and-de-meuron/55627dc3e58ece07f900030e-ricola-krauterzentrum-herzog-and-de-meuron-image?next_project=no) **059**
- **Figura 048** García, Luis. (2010). Casa Munita Gonzalez / Arias Arquitectos + Surtierra Arquitectura [Fotografía] ArchDaily, Chile. <https://www.archdaily.cl/cl/02-264070/casa-munita-gonzalez-arias-arquitectos-surtierra-arquitectura/51a6a9bcb3fc4b10be0002cc-casa-munita-gonzalez-arias-arquitectos-surtierra-arquitectura-photo> **060**
- **Figura 049** Astudillo, Juan Pablo; Vacacela Nina. (2015). Panel de bahareque prefabricado con aislante de viruta y pucón [Fotografía] Artículo, PROPUESTA DE PANELES ESTRUCTURALES MODULARES DE

BAHAREQUE PREFABRICADO DE MADERA, SIACOT 15, PROTERRA. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6085964>

060

- **Figura 050** Gatti, Fabio. (2012). Quincha metálica, Proceso constructivo [Collage] Tesis de Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura Construcción e Innovación Tecnológica, Universidad Politécnica de Catalunya. <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf>

061

- **Figura 051** Gatti, Fabio. (2012). Quincha metálica (TecnoBarro), Proceso constructivo [Collage] Tesis de Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura Construcción e Innovación Tecnológica, Universidad Politécnica de Catalunya. <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf>

061

- **Figura 052** Gatti, Fabio. (2012). Tierra alivianada o Vertida, Proceso constructivo [Collage] Tesis de Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura Construcción e Innovación Tecnológica, Universidad Politécnica de Catalunya. <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf>

061

- **Figura 053** Blondet, Marcial. Vargas, Julio. Torrealva Daniel. Rubiños Álvaro (2010). Fijación de Geomallas a pared [Diagrama]. MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON ADOBE REFORZADO CON GEOMALLA. Lima: Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. (p.16) [http://personal.denison.edu/~greened/adobe\\_geomesh\\_manual\\_spanis.pdf](http://personal.denison.edu/~greened/adobe_geomesh_manual_spanis.pdf)

062

- **Figura 054** Quispe Acosta, José Alberto. Rondón Durand, Silvana Marilia (2012). Instalación de la geomalla en muros de adobe [Fotografía]. Tesis de Grado para Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú. PROPUESTA INTEGRAL DE REFORZAMIENTO PARA EDIFICACIONES DE ADOBE. APLICACIÓN AL CASO DE UN LOCAL ESCOLAR DE ADOBE EN LA PROVINCIA DE YAUYOS. (p.15). Perú. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1492/QUISPE\\_JOSE\\_Y\\_RON-](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/1492/QUISPE_JOSE_Y_RON-)

DON\_SILVANA\_EDIFICACIONES\_ADOBE\_LOCAL\_ESCOLAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

062

- **Figura 055** San Bartolomé, Ángel. Quiun, Daniel (2015). Malla longitudinal, traslape con malla esquinera, conector y fijación de mallas [Diagrama]. Basado en: San Bartolomé, Ángel. Quiun, Daniel (2015). Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe típicas del Perú. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela (p.71-80). Venezuela. <http://ve.scielo.org/pdf/rfiucv/v30n1/art08.pdf>

062

- **Figura 056** San Bartolomé, Ángel. Quiun, Daniel (2015). Instalación de la malla y fijación con clavo y chapa. [Fotografía]. Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe típicas del Perú. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela (p.71-80). Venezuela. <http://ve.scielo.org/pdf/rfiucv/v30n1/art08.pdf>

063

- **Figura 057** Consuegra, Fernando Martín (s.f). Muros de adobe y celosías en el edificio para la asociación Yeredemé, Mopti, Mali. [Fotografía]. (Bestraten et al., 2011) Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la construcción, 63(523), (p.5-20). <http://hdl.handle.net/2117/20154>

063

- **Figura 058** Botella, Francisco (s.f). Detalles constructivos de la galería y la cubierta del edificio para la asociación Yeredemé, Mopti, Mali. [Diagrama]. (Bestraten et al., 2011) Construcción con tierra en el siglo XXI. Informes de la construcción, 63(523), (p.5-20). <http://hdl.handle.net/2117/20154>

063

- **Figura 059** Orta, B., Bustamante, R., Adell, J.M. (2011). Esquema de armado con cerchas. [Diagrama]. Estudio experimental del Sistema de Albañilería Integral en la construcción de viviendas sismorresistentes. Revista Materiales de Construcción, vol.62, 305. (p.67-77). [https://oa.upm.es/10645/2/Articulo\\_Publicado\\_787-923-1-PB.pdf](https://oa.upm.es/10645/2/Articulo_Publicado_787-923-1-PB.pdf)

063

- **Figura 060** Krieg Dossier, Ginger (2016). Ladrillos Bio Fabricados [Collage]. Researcher Grows Durable "Bio Bricks" From Sand, Bacteria, and Urea. Inhabita. <https://inhabitat.com/researcher-grows-durable-bio-bricks-from-sand-bacteria-and-urea/ecobrick-diag01/> **064**
- **Figura 061** Diagrama de granulometría [Diagrama]. **065**
- **Figura 062** Diagrama de plasticidad [Diagrama]. **065**
- **Figura 063** Villon Chang, Flavia Margiory & Castillo Gamboa, Diego Franco (2013). Construcción de la mitad inferior del módulo con refuerzo de PVC [Fotografía]. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú.- COMPORTAMIENTO SISIMICO DE MUROS CONSTRUIDOS CON BLOQUES DE TIERRA PRENSADA. (p.22). Lima, Perú. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5344/VILLON\\_FLAVIA\\_COMPORTAMIENTO\\_SISMICO\\_MUROS\\_BLOQUES\\_TIERRA\\_PRENSADA.pdf?sequence=1](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5344/VILLON_FLAVIA_COMPORTAMIENTO_SISMICO_MUROS_BLOQUES_TIERRA_PRENSADA.pdf?sequence=1) **064**
- **Figura 064** Abad Vega, Mateo; Aguirre Deleg, José y Pañega Paredes Freddy (2012). Visualización de paneles colocados de forma vertical [Fotografía]. Tesis de Grado, Universidad de Cuenca. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca.- Diseño de paneles prefabricados en Tierra. (p.111). <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/598> **066**
- **Figura 065** Fajardo Clara (2011). Investigación de BTC con lana y algas [Fotografía]. Investigación Carlos Rivera, Universidad de Sevilla. <https://www.elmundo.es/elmundo/2011/06/27/suvidencia/1309160513.html> **066**
- **Figura 066** CANNABRIC (2009). Bloque de cáñamo. BTC con cáñamo para muros aislantes y estructurales y muros de división interior. [Fotografía]. CANNABRIC. <http://www.cannabric.com/catalogo/>

- cannabric\_bloque\_de\_canamo\_autoportante\_portante\_/ **066**
- **Figura 067** Galíndez Fernando (2007). Probetas ensayadas a la compresión. [Fotografía]. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) SIN ADICIÓN DE CEMENTO. FUNDACIÓN MAPFRE. <https://docplayer.es/27465866-Bloques-de-tierra-comprimida-btc-sin-adicion-de-cemento.html> **066**
- **Figura 068** Cabrera José (2011). Proceso constructivo de sistema Sandino [Dibujo]. Civilgeeks Recuperado de: <https://civilgeeks.com/2011/09/08/un-sistema-semimecanizado-manual-el-sistema-sandino/> **068**
- **Figura 069** Farfán & López (2023). Propuesta de vivienda social con sistema Sandino adaptado a Ecuador. [Fotografía]. Tesis de grado **068**
- **Figura 070** Farfán & López (2023). Propuesta de vivienda social con sistema Sandino adaptado a Ecuador, Axonometría [Diagrama]. Tesis de grado **069**
- **Figura 071** ICONTEC (2004). Rango de diagrama de textura de suelos [Diagrama]. <https://es.scribd.com/document/521329136/NTC5324> **073**
- **Figura 072** ICONTEC (2004). Rango de diagrama de plasticidad de suelos [Diagrama]. <https://es.scribd.com/document/521329136/NTC5324> **073**
- **Figura 073** UNE 41410 (2008). Rango de diagrama de texturas de tierras [Diagrama]. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0042285> **073**
- **Figura 074** UNE 41410 (2008). Rango de diagrama de plasticidad de tierras [Diagrama]. <https://www.>

une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0042285	073
• <b>Figura 075</b> Google Maps. Localización de extracción de muestras en Pucará. [Mapa online]. Consultado el 25 de enero de 2023.	076
• <b>Figura 076</b> Google Maps. Localización de extracción de muestras en Cuenca. [Mapa online]. Consultado el 25 de enero de 2023.	077
• <b>Figura 077</b> Ensayo de olor [Fotografía].	078
• <b>Figura 078</b> Ensayo de mordedura [Fotografía].	078
• <b>Figura 079</b> Ensayo de lavado [Fotografía].	078
• <b>Figura 080</b> Ensayo de corte [Fotografía].	079
• <b>Figura 081</b> Ensayo de la bola [Fotografía].	079
• <b>Figura 082</b> Ensayo de consistencia [Fotografía].	079
• <b>Figura 083</b> Diagrama comparativo de suelos. Ensayo de granulometría [Diagrama].	081
• <b>Figura 084</b> Diagrama comparativo de suelos. Ensayo de plasticidad [Diagrama].	082
• <b>Figura 085</b> Diagrama comparativo de suelos. Ensayo Proctor [Diagrama].	083

• <b>Figura 086</b> Secado de material apilado (T_02) [Fotografía].	085
• <b>Figura 087</b> Zaranda o cernidor de malla [Fotografía].	085
• <b>Figura 088</b> Cilindro cernidor [Fotografía].	086
• <b>Figura 089</b> Mezclado de material [Fotografía].	086
• <b>Figura 090</b> Prensa con gato hidráulico de 50 ton [Fotografía].	087
• <b>Figura 091</b> Rotura de panel por transporte [Fotografía].	087
• <b>Figura 092</b> Curado de paneles BTC [Fotografía].	087
• <b>Figura 093 y 094</b> Rotura de panel BTC [Fotografía].	089
• <b>Figura 095</b> Diagrama de resistencia de paneles y el marco normativo.	090
• <b>Figura 096</b> Prensa hidráulica [Fotografía].	097
• <b>Figura 097</b> Perfil UPN [Diagrama].	097
• <b>Figura 098</b> Perfil IPN [Diagrama].	097
• <b>Figura 099</b> Rigidizador triangular [Diagrama].	097

- **Figura 100** Simulación de pórtico de prensa [Diagrama]. **098**
- **Figura 101** Zaranda o cernidor de malla [Fotografía]. **098**
- **Figura 102** Moledor manual [Fotografía]. **098**
- **Figura 103** Cernidora manual [Fotografía]. **098**
- **Figura 104** Perfil UPN [Diagrama]. **099**
- **Figura 105** Cilindro cernidor en acero [Fotografía]. **099**
- **Figura 106** PB\_01. Panel Base (90x30x6 cm) [Fotografía]. **101 y 110**
- **Figura 107** PF\_01 - PF\_05. Panel 1% de fibras (90x30x6 cm) [Fotografía]. **102 y 111**
- **Figura 108** PC\_01. Panel 20% de Cal (90x30x6 cm) [Fotografía]. **103 y 112**
- **Figura 109** PC\_02. Panel 5% de Cemento (90x30x6 cm) [Fotografía]. **104 y 113**
- **Figura 110** PC\_03. Panel 10% de Cemento (90x30x6 cm) [Fotografía]. **105 y 114**
- **Figura 111** PC\_04. Panel 15% de Cemento (90x30x6 cm) [Fotografía]. **106 y 115**
- **Figura 112** PC\_05. Panel 20% de Cemento (90x30x6 cm) [Fotografía]. **107 y 116**

- **Figura 113** PC\_06. Panel 25% de Cemento (90x30x6 cm) [Fotografía]. **108 y 117**
- **Figura 114** Diagrama de análisis de costos y la incidencia del tipo de prensa. **118**
- **Figura 115** Diagrama de costos por m<sup>2</sup> de cierre y la incidencia en el precio por m<sup>2</sup> de la vivienda. **122**
- **Figura 116** Ayarza-León, J. L. (2014). Los alginatos: 20000 usos de las algas submarinas [Diagrama]. Revista De Química, 28(1-2), 19-23. Recuperado a partir de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/10413> (p.19) **202**
- **Figura 117** I.Sáček, senior (2009) Sand mine in the Czech Republic, Bratčice [Fotografía]. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Arena\\_\(concreto\)#/media/Archivo:Sandmine3745.JPG](https://es.wikipedia.org/wiki/Arena_(concreto)#/media/Archivo:Sandmine3745.JPG) **202**
- **Figura 118** Ghosh T, Bhaduri S, Montemagno C, Kumar A (2019) Sporosarcina pasteurii can form nanoscale calcium carbonate crystals on cell surface [Collage]. Fig 3. SEM and EDS analysis of S. pasteurii. Recuperado de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0210339.g003> (p.08) **203**
- **Figura 119** Jan Homann (2006). Cabello humano ampliado 200 veces [Fotografía]. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Pelo#/media/Archivo:Menschenhaar\\_200\\_fach.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Pelo#/media/Archivo:Menschenhaar_200_fach.jpg) **203**
- **Figura 120** Plantas.ec (2022). Cascarilla de arroz [Fotografía]. Recuperado de <https://www.plantas.ec/product/arroz/> **204**
- **Figura 121** Banco Bilbao Vizcaya Argentina, S.A. (2022) Ceniza volcánica [Fotografía]. Recuperado de [https://www.bbva.com/wp-content/uploads/2021/10/BBVA-ceniza\\_volcan-int2.jpg](https://www.bbva.com/wp-content/uploads/2021/10/BBVA-ceniza_volcan-int2.jpg) **204**

- **Figura 122** Freepik Company (2023). Aserrín [Fotografía]. Recuperado de [https://www.freepik.es/fotos-premium/fondo-textura-aserrin-o-virutas-madera\\_20252746.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/fondo-textura-aserrin-o-virutas-madera_20252746.htm) **205**
- **Figura 123** Inpadesa (2016) Fibra de banano [Fotografía]. Recuperado de <https://www.inpadesa.com.ec/wp-content/uploads/2016/03/Inpadesa-Fibra-de-Babano-Ecuador.png> **205**
- **Figura 124** Fibras y Artesanías En Cabuya (2020). MADEJAS DE HILOS DE CABUYA NATURAL [Fotografía]. Recuperado de [https://scontent.fuio13-1.fna.fbcdn.net/v/t1.6435-9/130450935\\_102049848439997\\_1123137648634459904\\_n.jpg?\\_nc\\_cat=104 &ccb=1-7&\\_nc\\_sid=730e14&\\_nc\\_ohc=rFPikQhbDXYAX87UzoS&\\_nc\\_ht=scontent.fuio13-1.fna&oh=00\\_AfC9J4TK5HRhSdesP9s7mN8Q99qXb--1C2vMIxOsnJIAQ&oe=63E7CF0E](https://scontent.fuio13-1.fna.fbcdn.net/v/t1.6435-9/130450935_102049848439997_1123137648634459904_n.jpg?_nc_cat=104 &ccb=1-7&_nc_sid=730e14&_nc_ohc=rFPikQhbDXYAX87UzoS&_nc_ht=scontent.fuio13-1.fna&oh=00_AfC9J4TK5HRhSdesP9s7mN8Q99qXb--1C2vMIxOsnJIAQ&oe=63E7CF0E) **206**
- **Figura 125** iStock (2023). Fibras de cáñamo [Fotografía]. Recuperado de [https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2022-07-30/canamo-fibras-captura-carbono\\_3468147/](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2022-07-30/canamo-fibras-captura-carbono_3468147/) **206**
- **Figura 126** Fibra de carrizo [Foto]. **207**
- **Figura 127** Jardinedia (2017). Fibra de coco [Foto]. Recuperado de <https://www.jardinedia.com/fibra-de-coco/> **207**
- **Figura 128** Hepsiburada (s.f). Fibra de paja [Foto]. Recuperado de <https://www.hepsiburada.com/anb-dogal-rafya-muz-lifi-naturel-ip-100-gr-saman-ip-susleme-malz-pm-HB00000DIWFR> **208**
- **Figura 129** Artesanías de Chile (2022). Fibra de totora [Foto]. Recuperado de <https://artesaniasdechile.cl/producto/artesania-urbana/artesania-urbana-cesteria/panera-de-totora/> **208**

- **Figura 130** Natxo Gatón (2021). Lana de oveja [Foto]. Recuperado de <https://www.gasteizhoy.com/lana-de-ovejas-abono/> **209**
- **Figura 131** Andrew Coop (2022). Resina de nopal [Foto]. Recuperado de <https://www.finedininglovers.com/es/noticia/que-es-nopal> **209**
- **Figura 132** De Dirk Ingo Franke (2011). Temperatura [Foto]. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18569218> **210**
- **Figura 133** SarArtes (2021). Aceite de linaza [Foto]. Recuperado de <https://sarartes.com/como-utilizar-la-linaza-con-el-oleo/> **210**
- **Figura 134** iStock (2021). Melaza [Foto]. Recuperado de <https://www.finedininglovers.com/es/articulo/la-miel-de-cana-o-melaza-propiedades-y-beneficios> **211**
- **Figura 135** George (2022). Miel de abeja [Foto]. Recuperado de <https://www.mundodeportivo.com/uncomo/animales/articulo/como-hacen-la-miel-las-abejas-49595.html> **211**
- **Figura 136** Macronaturaleza (2022). Resina de pino [Foto]. Recuperado de <https://macronaturaleza.com/botanica/la-resina-de-los-pinos/> **212**
- **Figura 137** HORCALSA (2022). Cal [Foto]. Recuperado de <https://www.horcalsa.com/blog/cual-es-el-uso-de-la-cal-en-la-desinfeccion-de-granjas-avicolas/> **212**

- **Figura 138** Rubi (2022). Cemento [Foto]. Recuperado de <https://www.rubi.com/es/blog/cemento-portland-que-es/>  
**213**
- **Figura 139** Pintulac (2021). Cola plástica [Foto]. Recuperado de <https://www.pintulac.com.ec/cola-plastica-adheplast-1gl.html>  
**213**
- **Figura 140** Nestor Luis Sanchez (2020). Emulsión asfáltica [Foto]. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2014/07/18/las-emulsiones-asfalticas/>  
**214**
- **Figura 141** Carlos Juárez (s.f). Fibra plástica PET [Foto]. Recuperado de <https://thefoodtech.com/mquinaria-para-ensado-y-procesamiento/desarrollan-sistema-para-convertir-pet-en-fibra-de-poliester/>  
**214**
- **Figura 142** Steinstosser Schmachtenberg (s.f). Fibra de vidrio [Foto]. Recuperado de <https://buchholz-gruppe.eu/es/reciclaje-de-fibra-de-vidrio/>  
**215**
- **Figura 143** Infosalus (2014). Sal [Foto]. Recuperado de <https://www.infosalus.com/nutricion/noticia-reducir-sal-objetivo-mundial-20140328162036.html>  
**215**
- **Figura 144** Guy Sela (2022). Yeso [Foto]. Recuperado de <https://cropaia.com/es/blog/el-ye-so-en-la-agricultura/>  
**216**
- **Figura 145** CUIDEMOSNUESTRARG (2022). Aceite quemado [Foto]. Recuperado de <https://cuidemosnuestrarg.com.ar/como-reciclar-aceite-quemado-de-auto/>  
**216**
- **Figura 146** HORCALSA (2022). Cal [Foto]. Recuperado de <https://www.horcalsa.com/blog/cual-es-el->

- **Figura 147** El Universo (2018). Cáscara de camarón [Foto]. Recuperado de <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/10/21/nota/7007780/sabias-que-cascara-camaron-puede-purificar-agua-ecuador/>  
**217**
- **Figura 148** HRS (2022). Caceína (suero) [Foto]. Recuperado de <https://www.hrs-heatexchangers.com/es/alimentacion/procesado-de-productos-lacteos/suero-caseina-y-lactosa/>  
**218**
- **Figura 149** Pintulac (2021). Cola plástica [Foto]. Recuperado de <https://www.pintulac.com.ec/cola-plastica-adheplast-1gl.html>  
**218**
- **Figura 150** REPSOL (2023). Cera de parafina [Foto]. Recuperado de <https://www.repsol.com/es/productos-y-servicios/especialidades/productos/gama-ceras-parafinas-emulsiones/index.cshtml>  
**219**
- **Figura 151** Nestor Luis Sanchez (2020). Emulsión asfáltica [Foto]. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2014/07/18/las-emulsiones-asfalticas/>  
**219**
- **Figura 152** Maxilane (2020). Sellador mate maxilane [Imagen]. Recuperado de <https://www.intaco.com/ecuador/producto/maxilane/>  
**220**

- **Tabla 01** Das, Braja M (2013). Rangos de tamaño de suelo [Tabla]. Fundamentos de ingeniería geotécnica (p.20), cuarta edición. [https://issuu.com/cengagelatam/docs/fundamentos\\_de\\_ingenieria\\_low\\_1\\_iss](https://issuu.com/cengagelatam/docs/fundamentos_de_ingenieria_low_1_iss)  
**032**
- **Tabla 02** Ciancaglini (2010). Rangos de tamaño de suelo [Tabla]. Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico (p.1). [http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20\\_R001\\_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf](http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf)  
**032**
- **Tabla 03** Porta, J et al. Citado en Rubio Gutiérrez (2010) . Valores de densidad real de los principales materiales y horizontes edáficos [Tabla]. <http://hdl.handle.net/10261/57951>  
**039**
- **Tabla 04** Porta, J et al. Citado en Rubio Gutiérrez (2010). Valores críticos de densidad aparente en función de la textura [Tabla]. <http://hdl.handle.net/10261/57951>  
**039**
- **Tabla 05** Cid et al., (2011), Listado de normas y reglamentos encontrados [Tabla]. Normativas de construcción de tierra del mundo (p.162). [https://oa.upm.es/10611/2/INVE\\_MEM\\_2011\\_95320.pdf](https://oa.upm.es/10611/2/INVE_MEM_2011_95320.pdf)  
**049**
- **Tabla 06** Gatti, Fabio (2012). Plasticidad de técnicas constructivas en tierra [Tabla]. Tesis para Máster Oficial en Tecnología de la Arquitectura Construcción e Innovación Tecnológica, Barcelona (p.22). <https://core.ac.uk/download/pdf/41807254.pdf>  
**050**
- **Tabla 07** Bestraten et al. (2011). Conductividad de los materiales [Tabla]. Construcción con tierra en el siglo XXI, Artículo de revista “Informes de la construcción” vol.63 (p.10). <http://hdl.handle.net/2117/20154>  
**057**

- **Tabla 08** Resumen de normativas para BTC.  
**074**
- **Tabla 09** Compilación de Aditivos Naturales.  
**075**
- **Tabla 10** Compilación de Aditivos Sintéticos.  
**075**
- **Tabla 11** Lugares de extracción de muestras.  
**076**
- **Tabla 12** Ensayos empíricos T\_01 Y T\_02 (Challuabamba y Monay).  
**078**
- **Tabla 13** Ensayos empíricos T\_03 Y T\_04 (Nulti y Deuta).  
**079**
- **Tabla 14** Resultados de caracterización de suelos.  
**084**
- **Tabla 15** Dosificaciones de paneles BTC.  
**088**
- **Tabla 16** Cuadro de resistencias de panel BTC.  
**091**
- **Tabla 17** Perfilera usada en construcción de prensa.  
**097**
- **Tabla 18** Perfilera usada en construcción de cilindro cernidor.  
**099**
- **Tabla 19** Costo de construcción de prensa, cofre y cilindro cernidor.  
**100**
- **Tabla 20** APUS, PB\_01. Panel base, gata manual 50 toneladas.  
**101**

• <b>Tabla 21.</b> APUS, PF_01 - PF_05. Panel 1% de fibras, gata manual 50 toneladas.	<b>102</b>
• <b>Tabla 22</b> APUS, PC_01. Panel 20% de cal, gata manual 50 toneladas.	<b>103</b>
• <b>Tabla 23</b> APUS, PC_02. Panel 5% de cemento, gata manual 50 toneladas.	<b>104</b>
• <b>Tabla 24</b> APUS, PC_03. Panel 10% de cemento, gata manual 50 toneladas.	<b>105</b>
• <b>Tabla 25</b> APUS, PC_04. Panel 15% de cemento, gata manual 50 toneladas.	<b>106</b>
• <b>Tabla 26</b> APUS, PC_05. Panel 20% de cemento, gata manual 50 toneladas.	<b>107</b>
• <b>Tabla 27</b> APUS, PC_06. Panel 25% de cemento, gata manual 50 toneladas.	<b>108</b>
• <b>Tabla 28.</b> APUS, PB_01. Panel base, gata hidráulica mecánica.	<b>110</b>
• <b>Tabla 29.</b> APUS, PF_01 - PF_05. Panel 1% de fibras, gata hidráulica mecánica.	<b>111</b>
• <b>Tabla 30</b> APUS, PC_01. Panel 20% de cal, gata hidráulica mecánica.	<b>112</b>
• <b>Tabla 31</b> APUS, PC_02. Panel 5% de cemento, gata hidráulica mecánica.	<b>113</b>
• <b>Tabla 32</b> APUS, PC_03. Panel 10% de cemento, gata hidráulica mecánica.	<b>114</b>
• <b>Tabla 33</b> APUS, PC_04. Panel 15% de cemento, gata hidráulica mecánica.	<b>115</b>

• <b>Tabla 34</b> APUS, PC_05. Panel 20% de cemento, gata hidráulica mecánica.	<b>116</b>
• <b>Tabla 35</b> APUS, PC_06. Panel 25% de cemento, gata hidráulica mecánica.	<b>117</b>
• <b>Tabla 36</b> Análisis de costo de vivienda social de Ecuador.	<b>120</b>
• <b>Tabla 37</b> Insidencia de cerramiento según tipo de panel en vivienda de Farfán y Lopez (2023)	<b>121</b>
• <b>Tabla 38</b> Análisis de costo de sistema de cierre.	<b>121</b>
• <b>Tabla 39</b> Síntesis de resultados por cada tipología de panel experimentado.	<b>128</b>
• <b>Tabla 40</b> Especificaciones de aditivo - algas.	<b>202</b>
• <b>Tabla 41</b> Especificaciones de aditivo - arena.	<b>202</b>
• <b>Tabla 42</b> Especificaciones de aditivo - bacterias.	<b>203</b>
• <b>Tabla 43</b> Especificaciones de aditivo - cabello.	<b>203</b>
• <b>Tabla 44</b> Especificaciones de aditivo - cascarilla de arroz.	<b>204</b>
• <b>Tabla 45</b> Especificaciones de aditivo - ceniza volcánica.	<b>204</b>
• <b>Tabla 46</b> Especificaciones de aditivo - fibra de aserrín.	<b>205</b>

• <b>Tabla 47</b> Especificaciones de aditivo - fibra de bagazo de plátano.	205
• <b>Tabla 48</b> Especificaciones de aditivo - fibra de cabuya.	206
• <b>Tabla 49</b> Especificaciones de aditivo - fibra de cáñamo.	206
• <b>Tabla 50</b> Especificaciones de aditivo - fibra de carrizo.	207
• <b>Tabla 51</b> Especificaciones de aditivo - fibra de coco.	207
• <b>Tabla 52</b> Especificaciones de aditivo - fibra de paja.	208
• <b>Tabla 53</b> Especificaciones de aditivo - fibra de totora.	208
• <b>Tabla 54</b> Especificaciones de aditivo - lana de oveja.	209
• <b>Tabla 55</b> Especificaciones de aditivo - resina de nopal.	209
• <b>Tabla 56</b> Especificaciones de aditivo - temperatura.	210
• <b>Tabla 57</b> Especificaciones de aditivo - aceite de linaza.	210
• <b>Tabla 58</b> Especificaciones de aditivo - melaza.	211
• <b>Tabla 59</b> Especificaciones de aditivo - miel de abeja.	211

• <b>Tabla 60</b> Especificaciones de aditivo - resina de pino.	212
• <b>Tabla 61</b> Especificaciones de aditivo - cal.	212
• <b>Tabla 62</b> Especificaciones de aditivo - cemento.	213
• <b>Tabla 63</b> Especificaciones de aditivo - cola plástica.	213
• <b>Tabla 64</b> Especificaciones de aditivo - emulsión asfáltica.	214
• <b>Tabla 65</b> Especificaciones de aditivo - fibras plásticas.	214
• <b>Tabla 66</b> Especificaciones de aditivo - fibra de vidrio.	215
• <b>Tabla 67</b> Especificaciones de aditivo - sal.	215
• <b>Tabla 68</b> Especificaciones de aditivo - yeso.	216
• <b>Tabla 69</b> Especificaciones de aditivo - aceite quemado.	216
• <b>Tabla 70</b> Especificaciones de aditivo - cal.	217
• <b>Tabla 71</b> Especificaciones de aditivo - cáscara de camarón.	217
• <b>Tabla 72</b> Especificaciones de aditivo - caseína (suero de leche).	218

• <b>Tabla 73</b> Especificaciones de aditivo - cola plástica.	218
• <b>Tabla 74</b> Especificaciones de aditivo - cera de parafina.	219
• <b>Tabla 75</b> Especificaciones de aditivo - emulsión asfáltica.	219
• <b>Tabla 76</b> Especificaciones de aditivo - sellador comercial Maxiline, Intaco.	220
• <b>Tabla 77</b> Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T_01.	222
• <b>Tabla 78</b> Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T_02.	222
• <b>Tabla 79</b> Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T_03.	223
• <b>Tabla 80</b> Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T_04.	223
• <b>Tabla 81</b> Ensayo Proctor de suelo T_01.	224
• <b>Tabla 82</b> Ensayo Proctor de suelo T_02.	224
• <b>Tabla 83</b> Ensayo Proctor de suelo T_03.	224
• <b>Tabla 84</b> Ensayo Proctor de suelo T_04.	224
• <b>Tabla 85</b> Ensayo de plasticidad T_01	225

• <b>Tabla 86</b> Ensayo de plasticidad T_02	225
• <b>Tabla 87</b> Ensayo de plasticidad T_03	226
• <b>Tabla 88</b> Ensayo de plasticidad T_04	226



## Anexo A (Catálogo)

**Rango óptimo de curva granulométrica**

Rango granulométrico, que permite entender los límites permisibles por la normativa colombiana NTC 5324.

**Rango óptimo de plasticidad**

Rango de plasticidad, que permite entender los límites permisibles por la normativa colombiana NTC 5324.

**Tendencia recomendada de ensayo proctor**

Tendencia de humedad - densidad del suelo. En este apartado se evalúa la humedad ideal para que el suelo alcance su mayor densidad al ser compactado.

**Panel BTC**

En esta sección se detallará las características principales del panel en cuestión. Se usará una tabla que permita comparar los resultados del panel estudiado con los mínimos exigidos por la normativa de BTC más cercana a nuestro contexto, que es la normativa colombiana NTC 5324. También, se expone la dosificación empleada netamente del suelo, en porcentajes de arcilla, limo, arena, tierra y grava. Que puede estar ligada directamente a la curva granulométrica o puede estar estabilizada con porcentajes extras de arcilla o arena.

**Características de la tierra**

Las características que consideramos importantes al momento de fabricar un BTC son: el color (que se referencia en las escalas de Munsell), el pH y la estabilidad de las arcillas (propiedad ligada directamente al tipo de arcilla).

**Fabricación**

Los parámetros de prensado y curado son importantes ya que influyen directamente en la resistencia de los paneles. Por esta razón es importante exhibir los métodos utilizados según el panel presentado. Para finalizar, la eficiencia de producción está ligado directamente al prensado y al tipo de panel. Por ello, se recalca la producción de paneles por hora que se logran y se categoriza en 4 grupos de eficiencia que van desde deficiente hasta altamente eficiente.

**Aditivos naturales**

Los aditivos de origen natural que permitan estabilizar el BTC se enlistan en este apartado. Se pretende seleccionar de manera rápida y dinámica, de modo que permita una rápida identificación de los aditivos y su porcentaje respecto al panel.

**Aditivos especiales**

Los aditivos especiales de este apartado engloban todos aquellos de la industria y de origen especial. El objetivo de este apartado es buscar y señalar aditivos especiales que se hayan usado para mejorar las características del BTC.

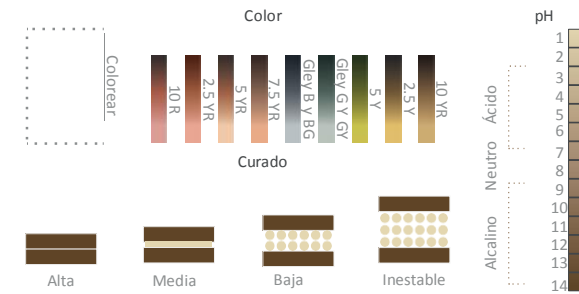
**Impermeabilizantes**

Los impermeabilizantes propuestos se han seleccionado en base otras investigaciones no necesariamente relacionadas con los BTC, pero que podrían aportar de forma importante a su comportamiento.

**Panel BTC**

Leyenda		Perspectiva
CARACTERÍSTICAS		
NTC 5324	BTC 5,84 Kg	Insertar perspectiva de sistema con panel o mampuesto.
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>	
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>	
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)	
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb	
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm	
Dosificación		

**Características de la tierra**



**Fabricación**



**Aditivos naturales**



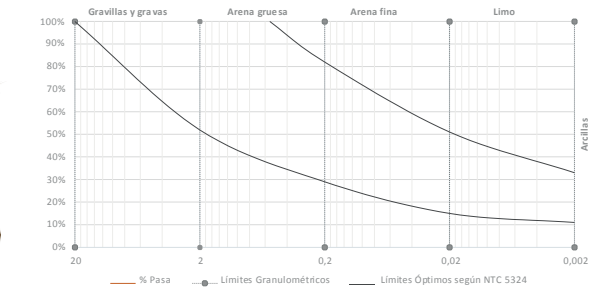
**Aditivos especiales**



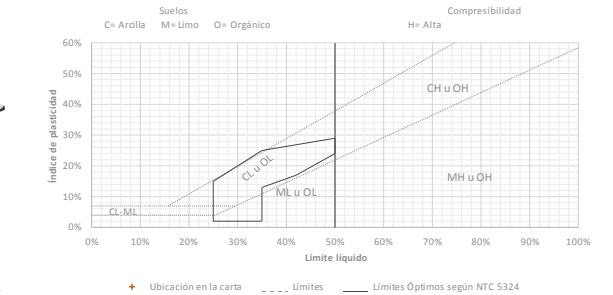
**Impermeabilizantes**



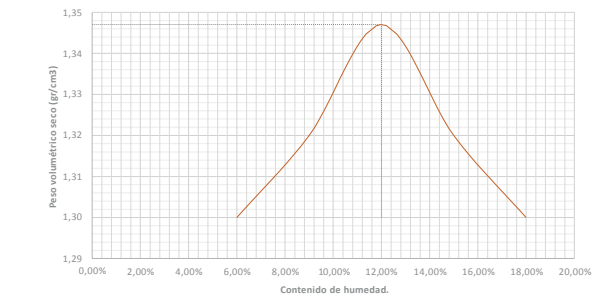
**Rango óptimo de curva granulométrica**



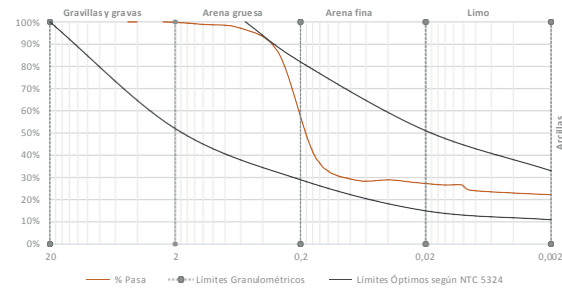
**Rango óptimo de plasticidad**



**Tendencia recomendada de ensayo proctor**



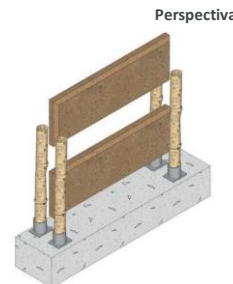
Curva granulométrica



Panel BTC

**Leyenda**

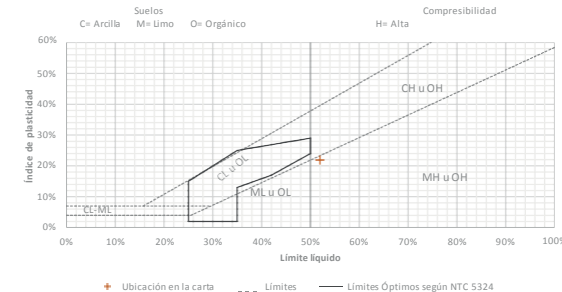
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm
20% de arcilla - 78% de arenas y limos	



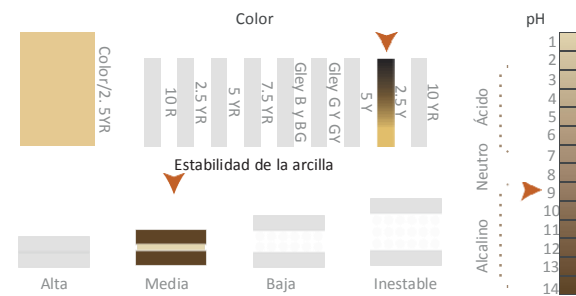
Aditivos naturales



Plasticidad



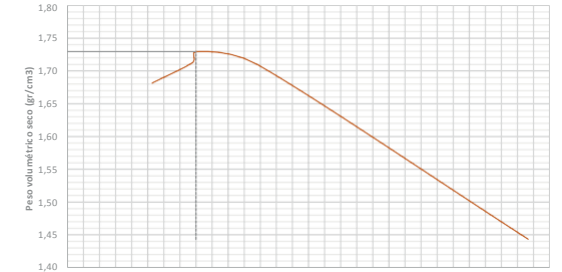
Características de la tierra



Aditivos especiales



Ensayo Proctor



Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

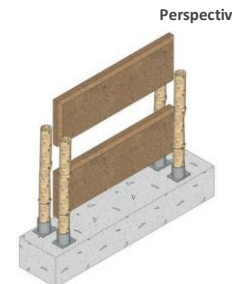
Fabricación



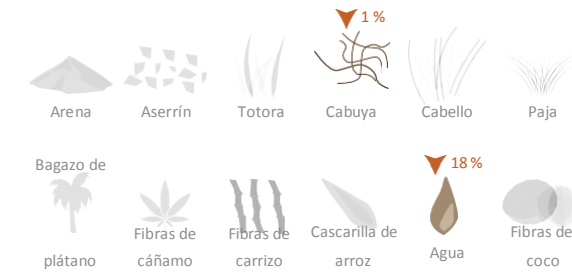
Panel BTC

**Leyenda**

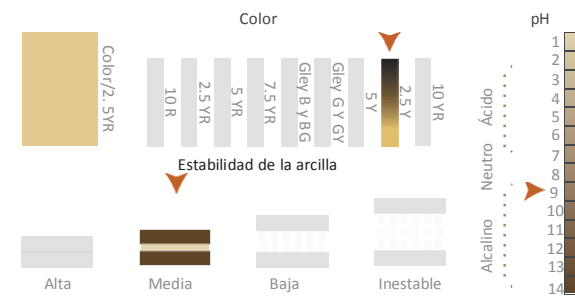
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm
20% de arcilla - 78% de arenas y limos	



Aditivos naturales



Características de la tierra



Aditivos especiales



Fabricación

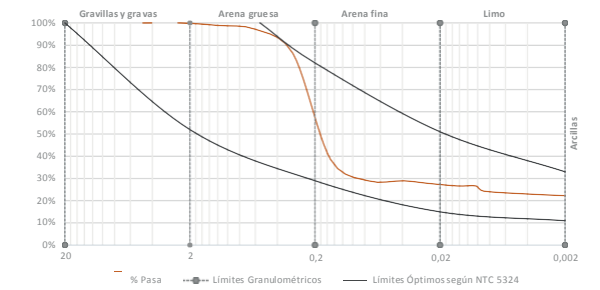


Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

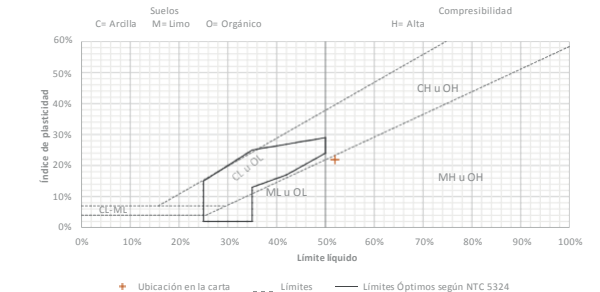
Aditivo Impermeabilizante



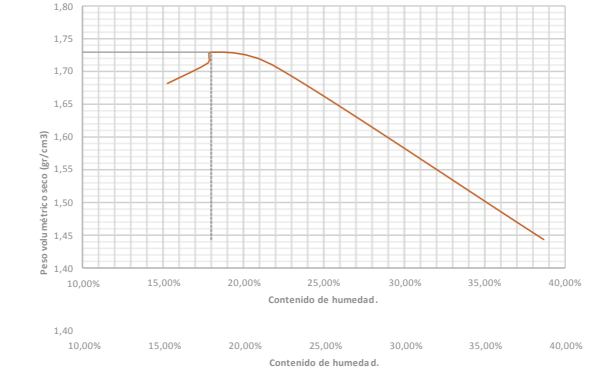
Curva granulométrica



Plasticidad



Ensayo Proctor



Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Alta

Emulsión  
asfáltica

Aceite  
quemado

Sellador  
comercial

Cal

Cola  
plástica

Cera de  
parafina

Ninguno

Intermitente

Continuo

Químico



Alta

Emulsión  
asfáltica

Aceite  
quemado

Sellador  
comercial

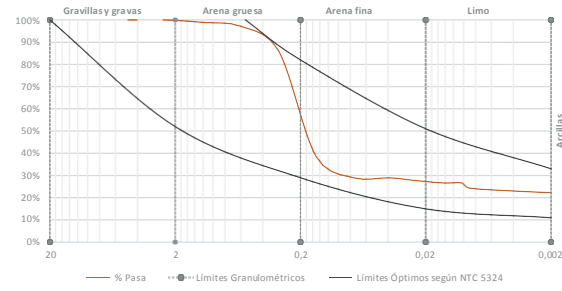
Cal

Cola  
plástica

Cera  
de  
parafina

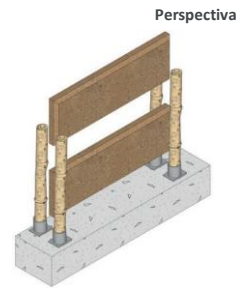


Curva granulométrica



Panel BTC

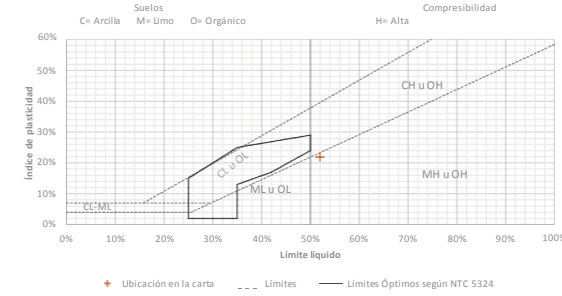
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm
20% de arcilla - 78% de arenas y limos	



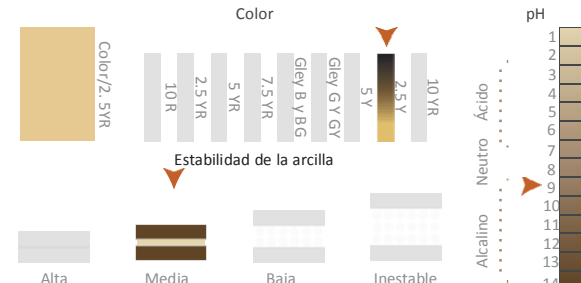
Aditivos naturales



Plasticidad



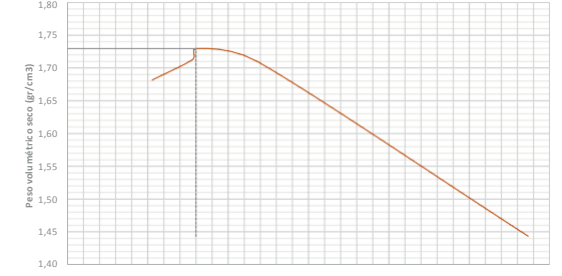
Características de la tierra



Aditivos especiales



Ensayo Proctor



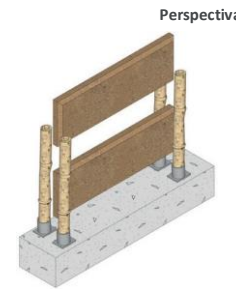
Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Fabricación



Panel BTC

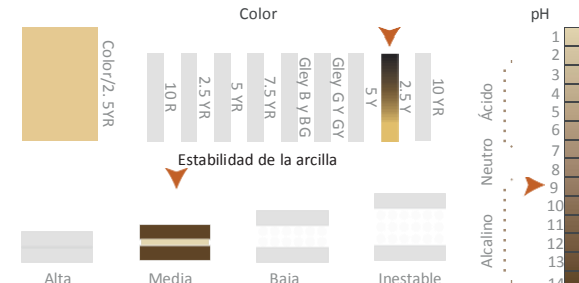
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm
20% de arcilla - 78% de arenas y limos	



Aditivos naturales



Características de la tierra



Aditivos especiales



Fabricación

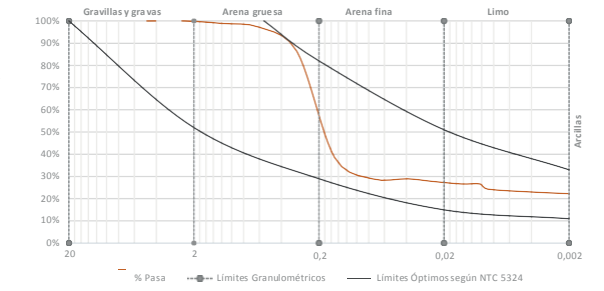


Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

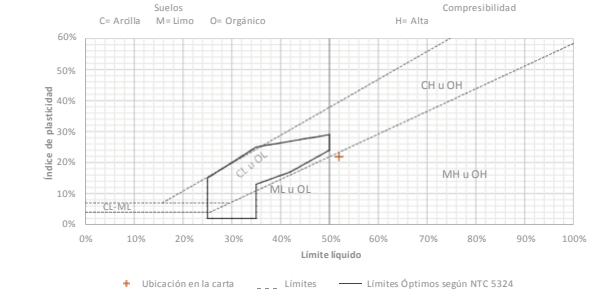
Aditivo Impermeabilizante



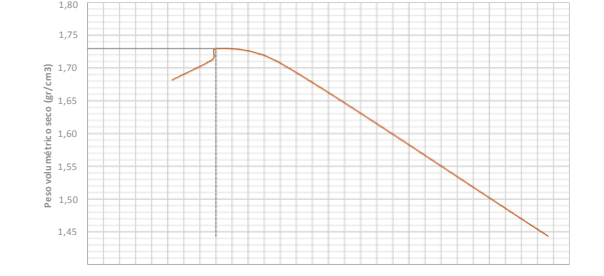
Curva granulométrica



Plasticidad



Ensayo Proctor



Alta

Emulsión  
asfáltica

Aceite  
quemado

Sellador  
comercial

Cal

Cola  
plástica

Cera de  
parafina

Ninguno

Intermitente

Continuo

Químico

Alta

Emulsión  
asfáltica

Aceite  
quemado

Sellador  
comercial

Cal

Cola  
plástica

Cera de  
parafina

1  
4  
0  
10,00%  
Contenido  
de  
humedad.

15,00%

20,00%

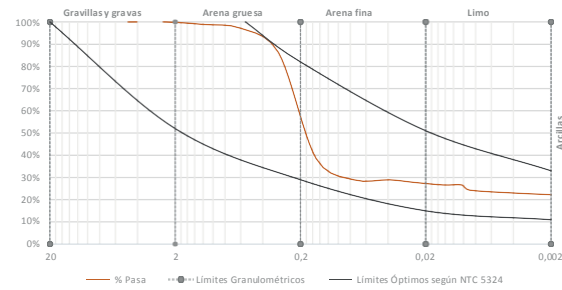
25,00%

30,00%

35,00%

40,00%

Curva granulométrica

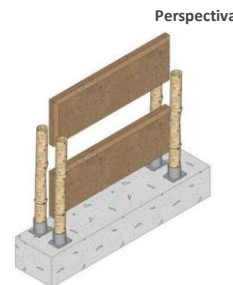


Panel BTC

**Leyenda**

CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm

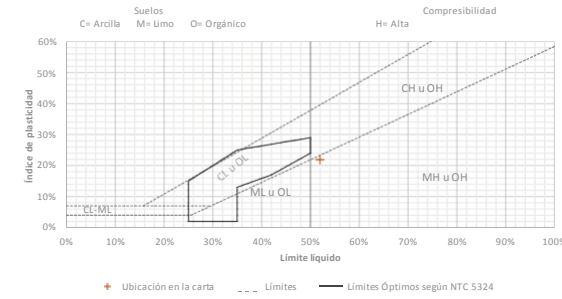
20% de arcilla - 78% de arenas y limos



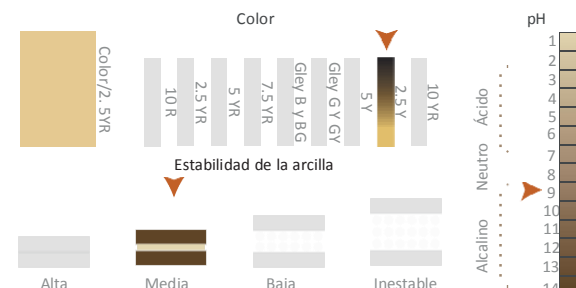
Aditivos naturales



Plasticidad



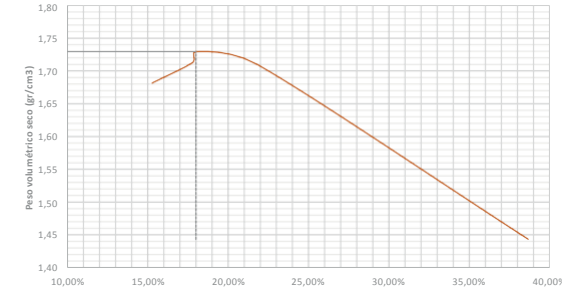
Características de la tierra



Aditivos especiales



Ensayo Proctor



Fabricación



Aditivo Impermeabilizante

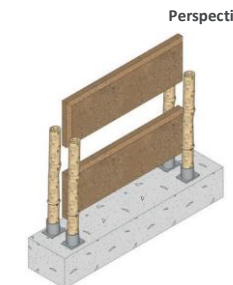


Panel BTC

**Leyenda**

CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm

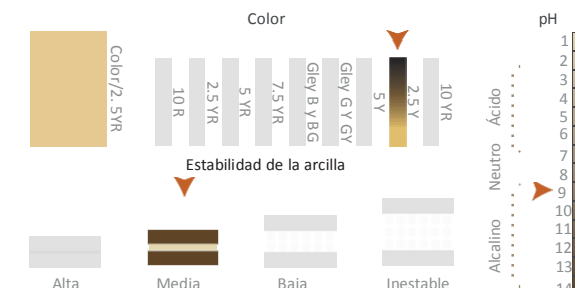
20% de arcilla - 78% de arenas y limos



Aditivos naturales



Características de la tierra



Aditivos especiales



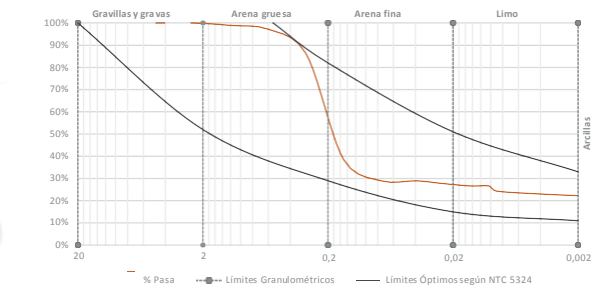
Fabricación



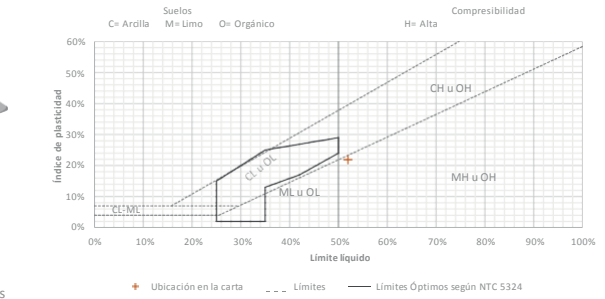
Aditivo Impermeabilizante



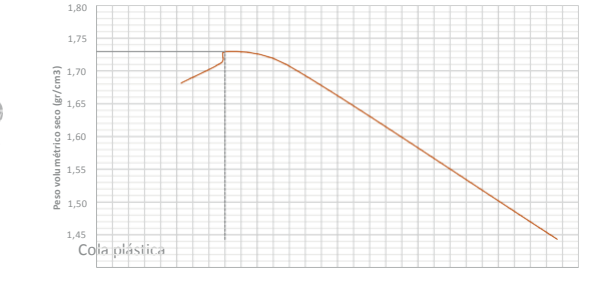
Curva granulométrica



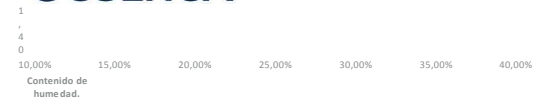
Plasticidad



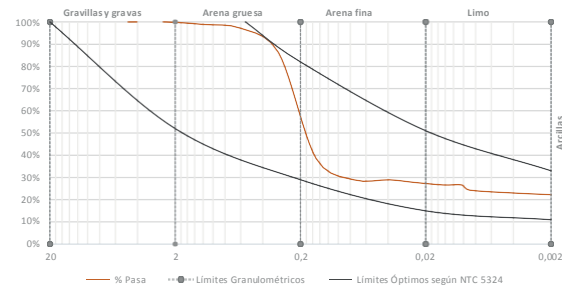
Ensayo Proctor



Ninguno Intermittente Continuo Químico  Media Alta Emulsión asfáltica Aceite quemado Sellador comercial Cal Cola plástica Cera de parafina



Curva granulométrica

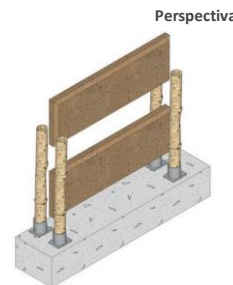


Panel BTC

**Leyenda**

CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm

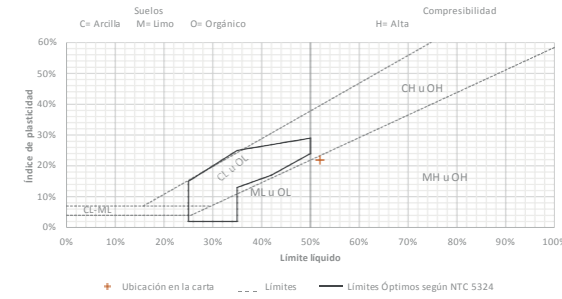
20% de arcilla - 78% de arenas y limos



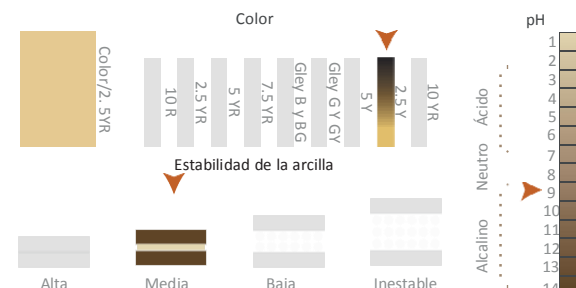
Aditivos naturales



Plasticidad



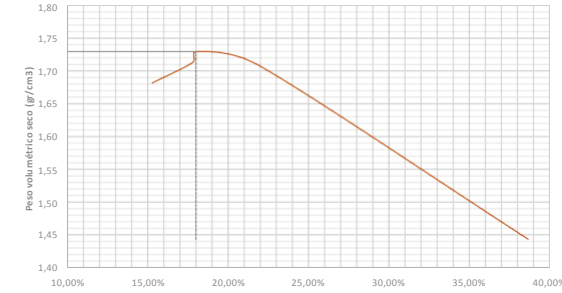
Características de la tierra



Aditivos especiales



Ensayo Proctor



Fabricación



Aditivo Impermeabilizante

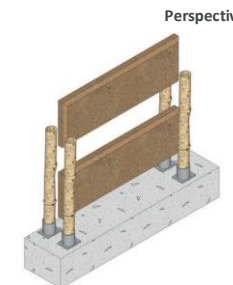


Panel BTC

**Leyenda**

CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm

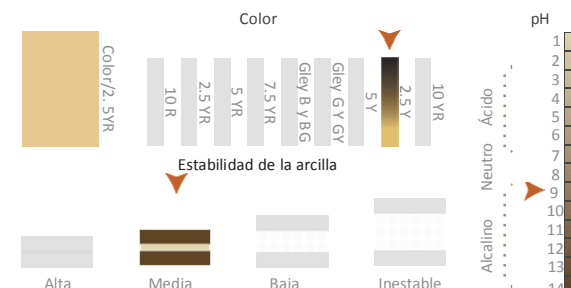
20% de arcilla - 78% de arenas y limos



Aditivos naturales



Características de la tierra



Aditivos especiales



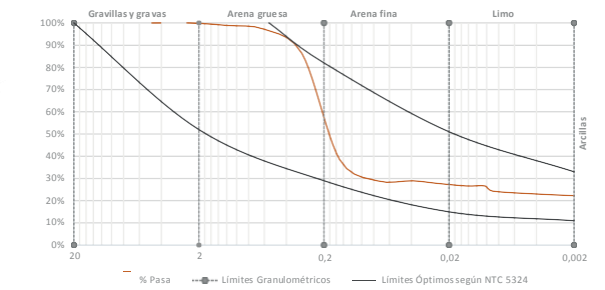
Fabricación



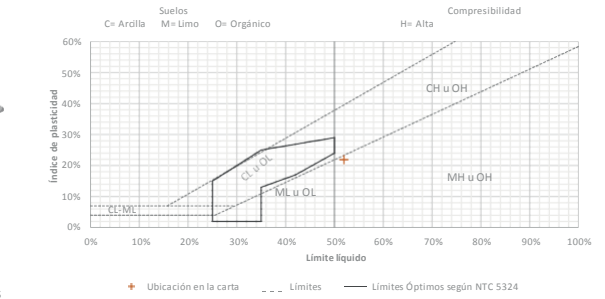
Aditivo Impermeabilizante



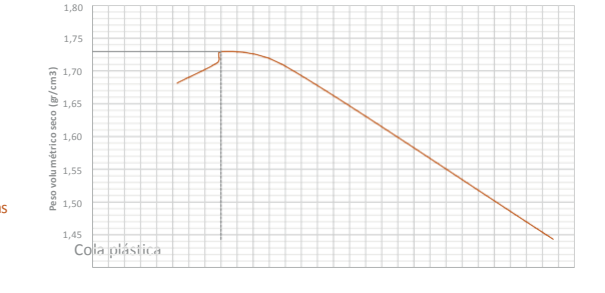
Curva granulométrica



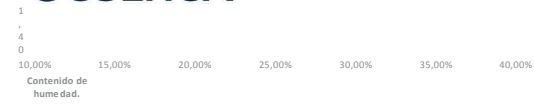
Plasticidad



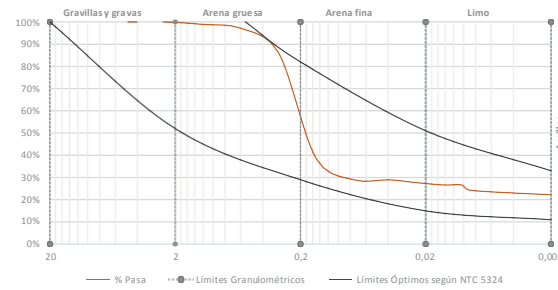
Ensayo Proctor



Ninguno Intermittente Continuo Químico  Media Alta Emulsión asfáltica Aceite quemado Sellador comercial Cal Cola plástica Cera de parafina



Curva granulométrica

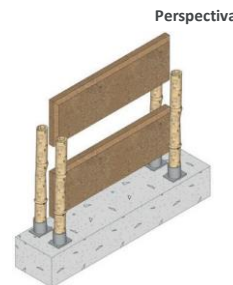


Panel BTC

**Leyenda**

CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm

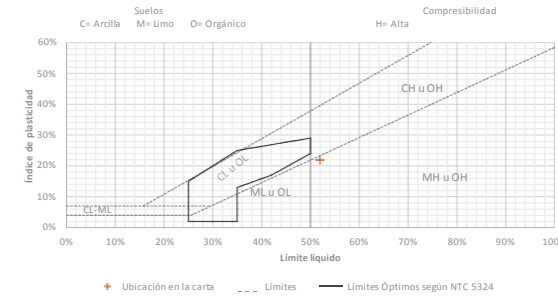
20% de arcilla - 78% de arenas y limos



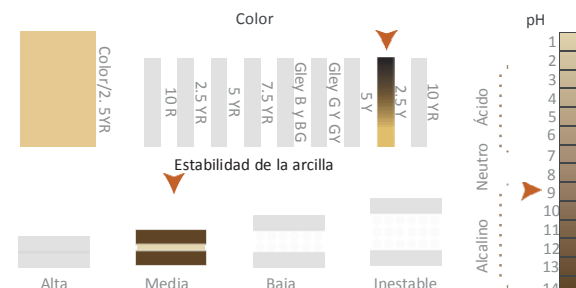
Aditivos naturales



Plasticidad



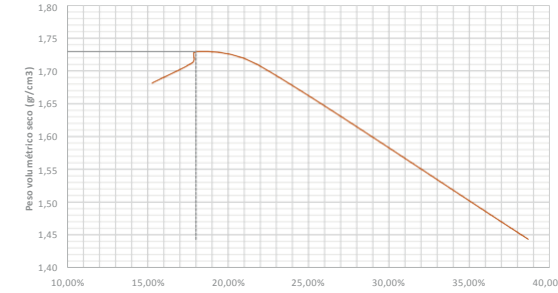
Características de la tierra



Aditivos especiales



Ensayo Proctor



Fabricación



Aditivo Impermeabilizante

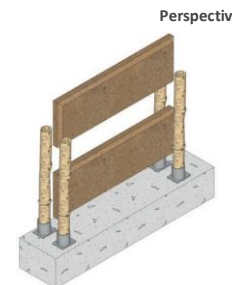


Panel BTC

**Leyenda**

CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC de 25 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	90 x 30 x 6 cm

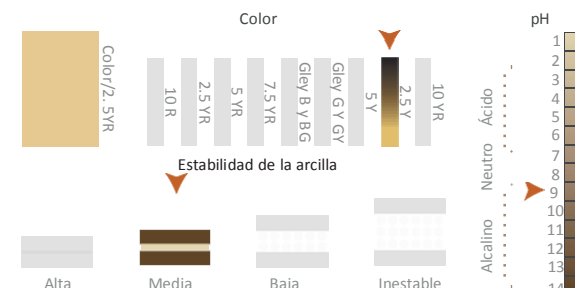
20% de arcilla - 78% de arenas y limos



Aditivos naturales



Características de la tierra



Aditivos especiales



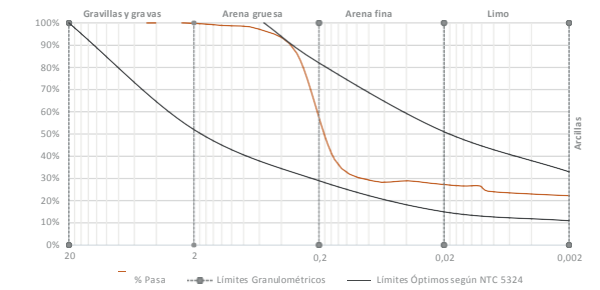
Fabricación



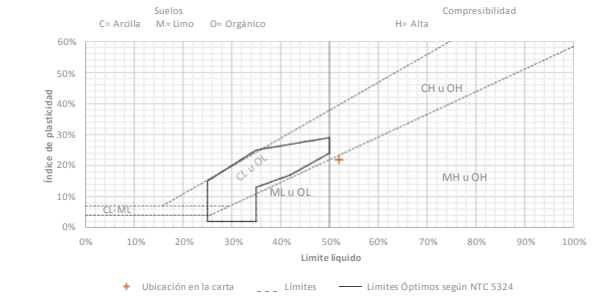
Aditivo Impermeabilizante



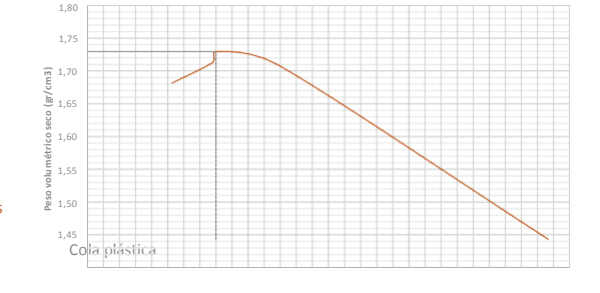
Curva granulométrica



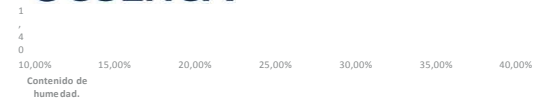
Plasticidad



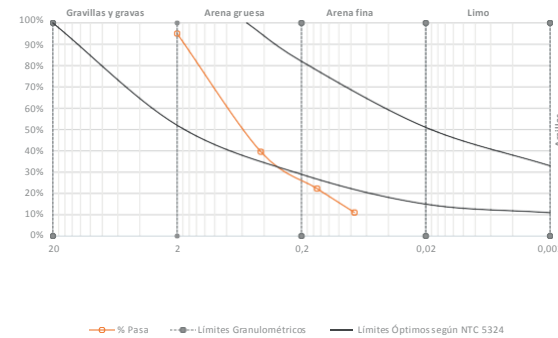
Ensayo Proctor



Ninguno Intermitente Continuo Químico  Media Alta Emulsión asfáltica Aceite quemado Sellador comercial Cal Cola plástica Cera de parafina

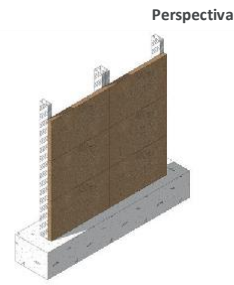


### Curva granulométrica



### Panel BTC

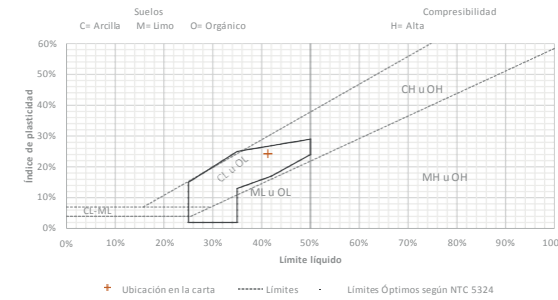
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 5,84 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	2,2 x 30 x 50 cm
50% de arcilla y 50% de tierra	



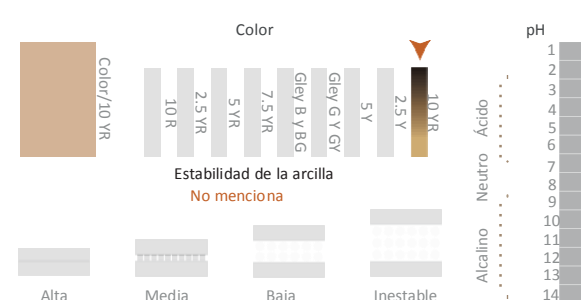
### Aditivos naturales



### Plasticidad



### Características de la tierra



### Aditivos especiales



### Ensayo Proctor

No aborda el ensayo proctor

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

### Fabricación

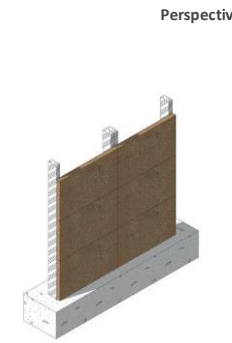


### Aditivo Impermeabilizante



### Panel BTC

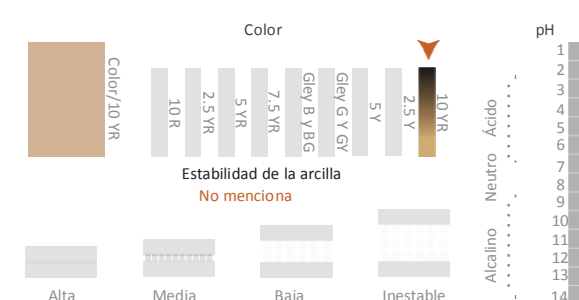
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 5,84 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	2,2 x 30 x 50 cm
50% de arcilla y 50% de tierra	



### Aditivos naturales



### Características de la tierra



### Aditivos especiales

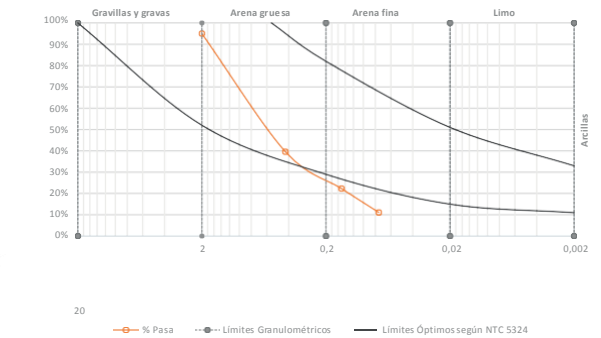


### Fabricación

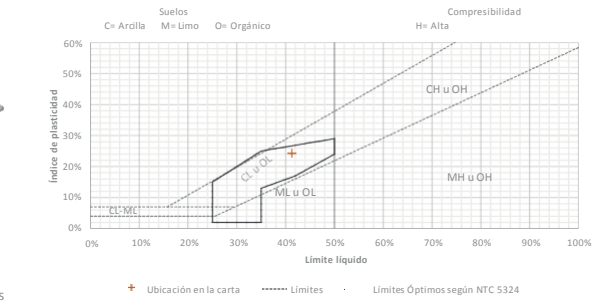


Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

### Curva granulométrica



### Plasticidad



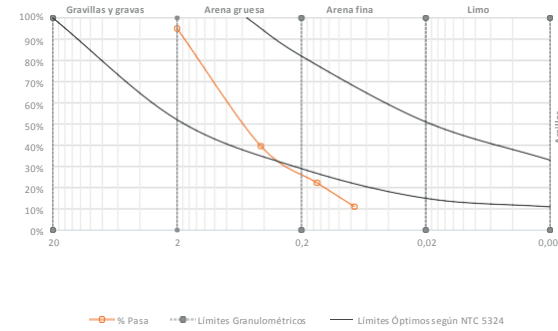
### Ensayo Proctor

No aborda el ensayo proctor

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

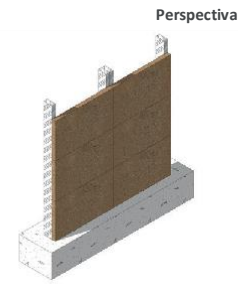


Curva granulométrica



Panel BTC

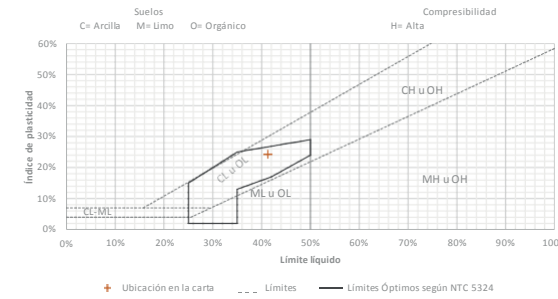
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 5,84 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	50% de arcilla y 50% de tierra



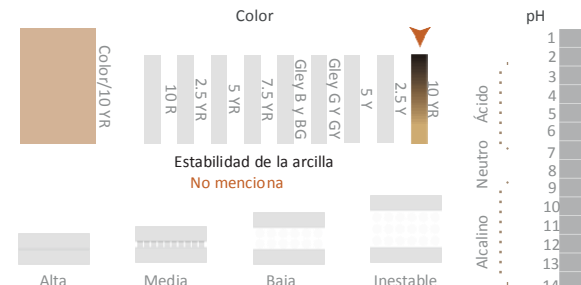
Aditivos naturales



Plasticidad



Características de la tierra



Aditivos especiales

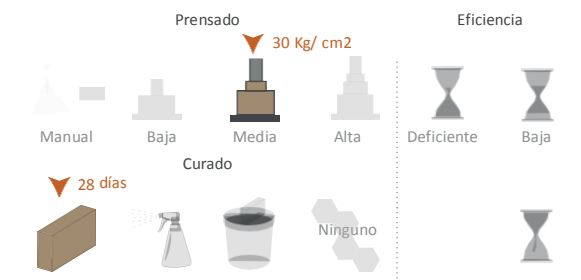


Ensayo Proctor

No aborda el ensayo proctor

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Fabricación

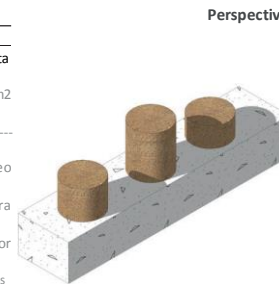


Aditivo Impermeabilizante



Bloque BTC

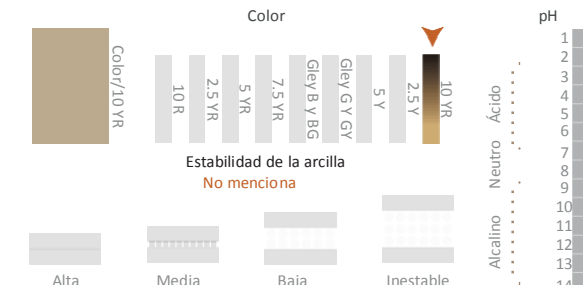
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC probeta
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	15-20% de arcilla - 50-70% de arena - 15% limos



Aditivos naturales



Características de la tierra



Aditivos especiales



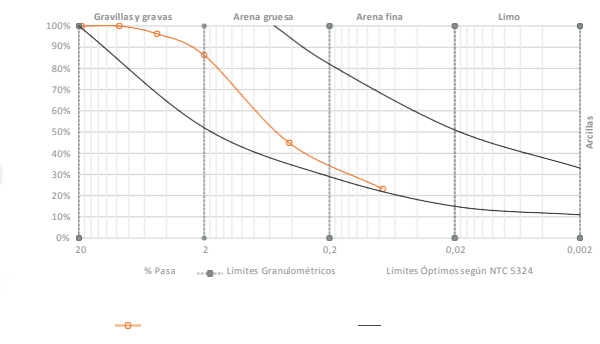
Fabricación



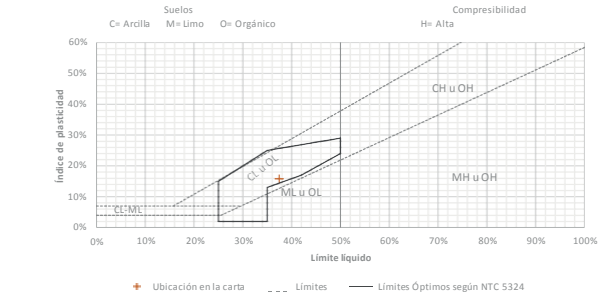
Aditivo Impermeabilizante



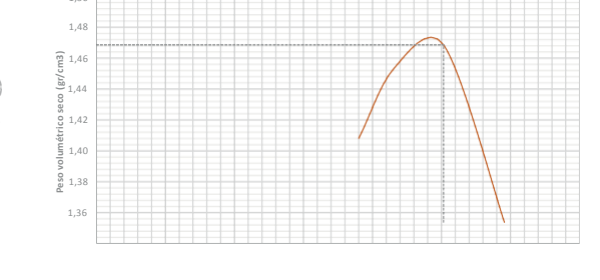
Curva granulométrica

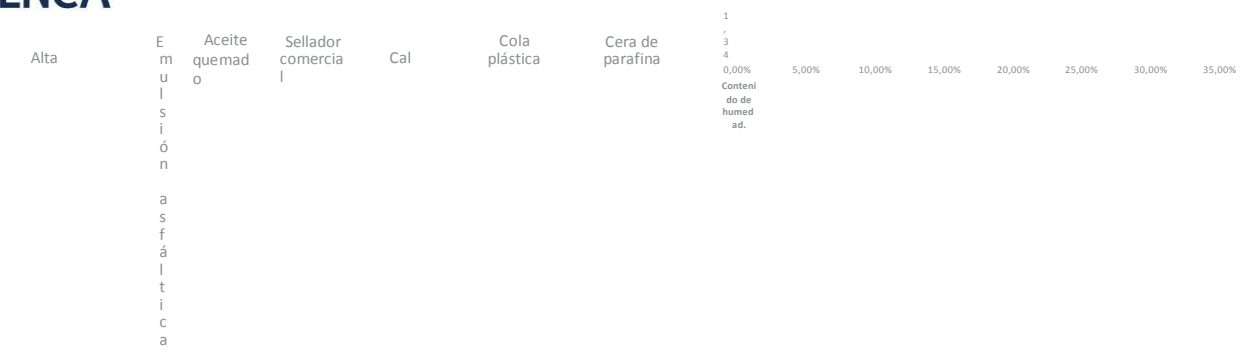


Plasticidad

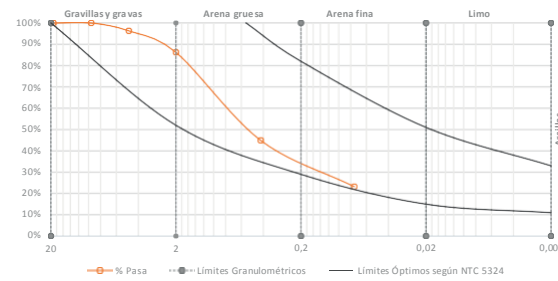


Ensayo Proctor



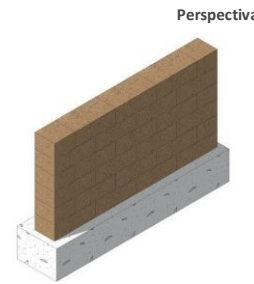


### Curva granulométrica



### Panel BTC

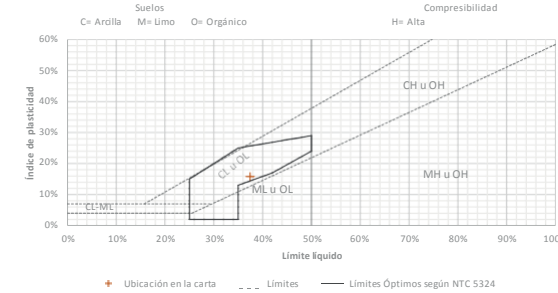
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7,73 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación: 50% de arcilla o suelo plástico	



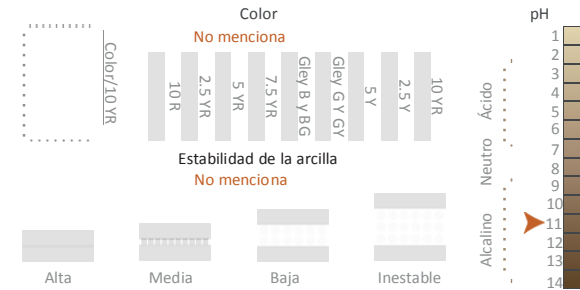
### Aditivos naturales



### Plasticidad



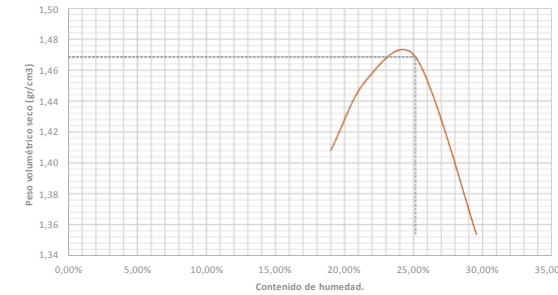
### Características de la tierra



### Aditivos especiales



### Ensayo Proctor



### Fabricación

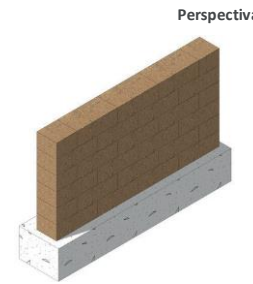


### Aditivo Impermeabilizante



### Bloque BTC

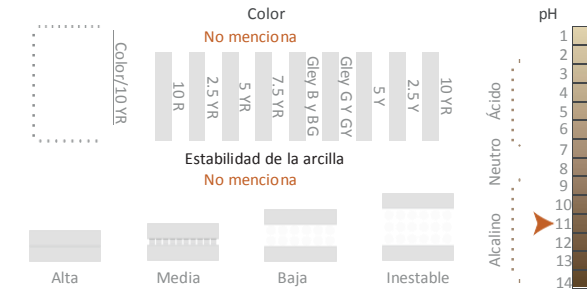
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7,73 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación: 50% de arcilla o suelo plástico	



### Aditivos naturales



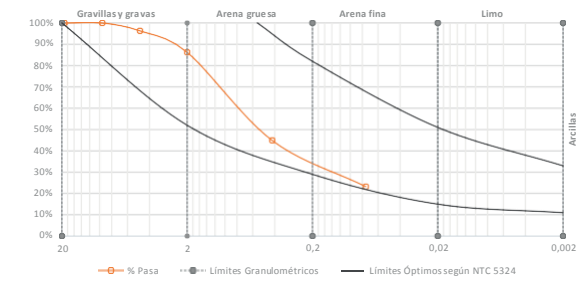
### Características de la tierra



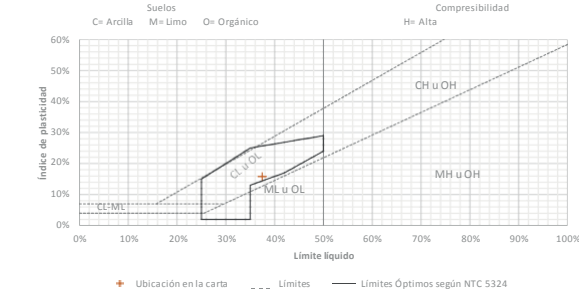
### Aditivos especiales



### Curva granulométrica



### Plasticidad



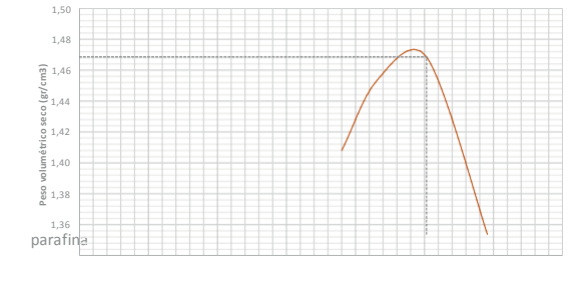
### Fabricación



### Aditivo Impermeabilizante



### Ensayo Proctor



Ninguno

Intermitente    Continuo

Químico



Media

Alta

Emulsión  
asfáltica

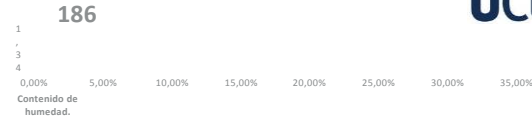
Aceite  
quemado

Sellador  
comercial

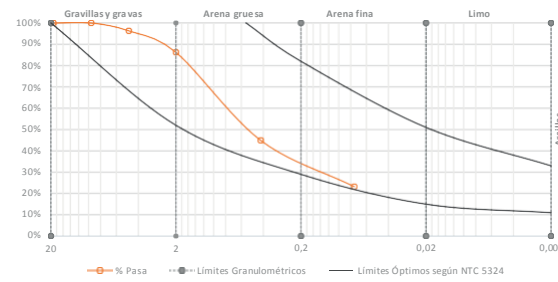
Cal

Cola  
plástica

Cera de  
parafina

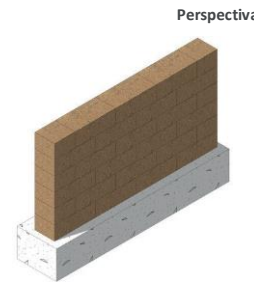


### Curva granulométrica



### Panel BTC

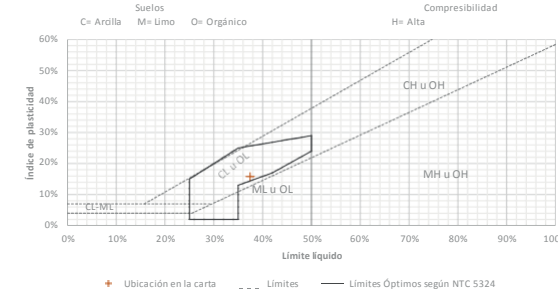
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7,73 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 14 x 29 cm
50% de arcilla o suelo plástico	



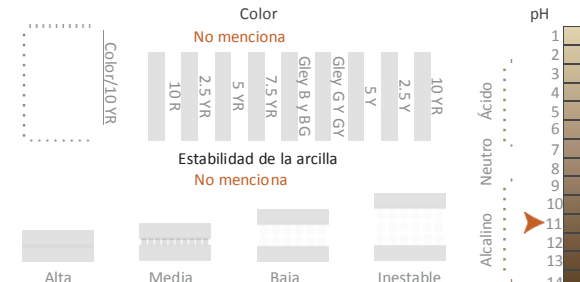
### Aditivos naturales



### Plasticidad



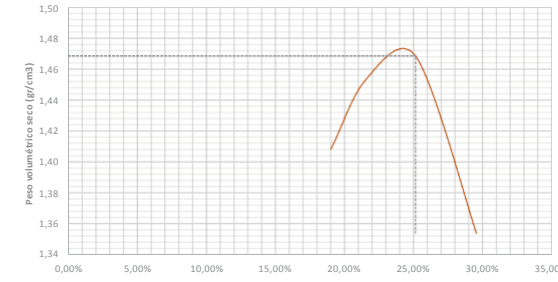
### Características de la tierra



### Aditivos especiales



### Ensayo Proctor



### Fabricación

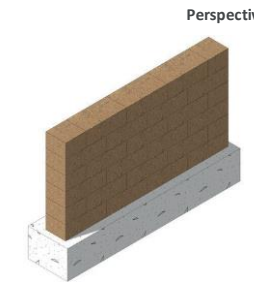


### Aditivo Impermeabilizante



### Bloque BTC

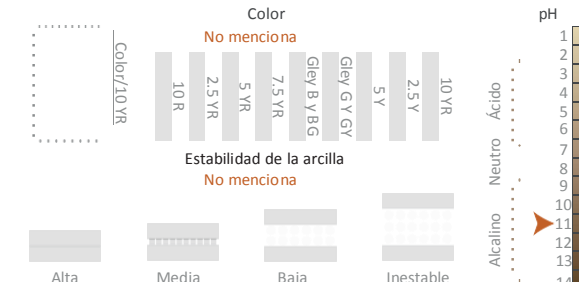
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7,73 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 14 x 29 cm
50% de arcilla o suelo plástico	



### Aditivos naturales



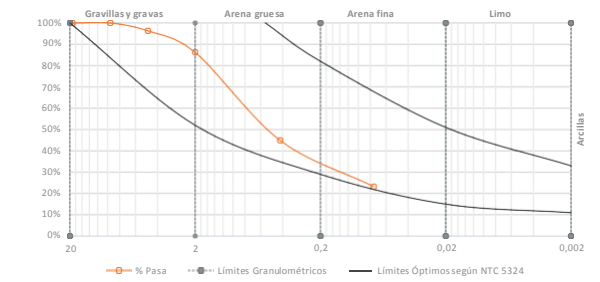
### Características de la tierra



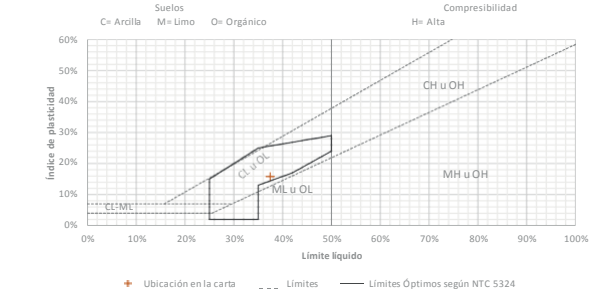
### Aditivos especiales



### Curva granulométrica



### Plasticidad



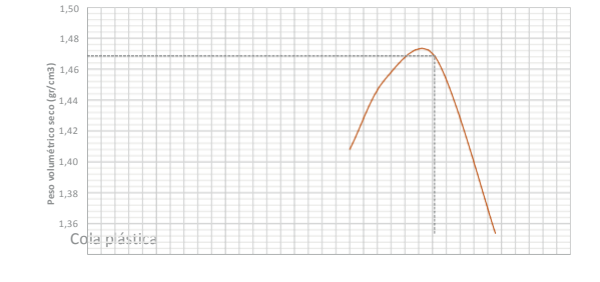
### Fabricación



### Aditivo Impermeabilizante



### Ensayo Proctor



Ningun  
o

Intermitente

Continuo

Químico



Media

Alta

Emulsión  
asfáltica

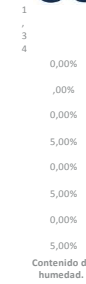
Aceite  
quemado

Sellador  
comercial

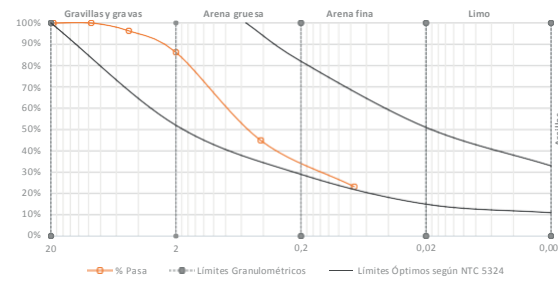
Cal

Cola  
plástica

Cera de  
parafina

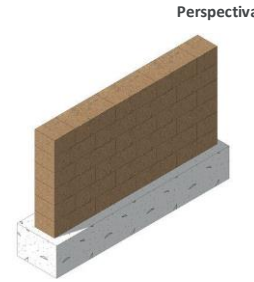


### Curva granulométrica



### Panel BTC

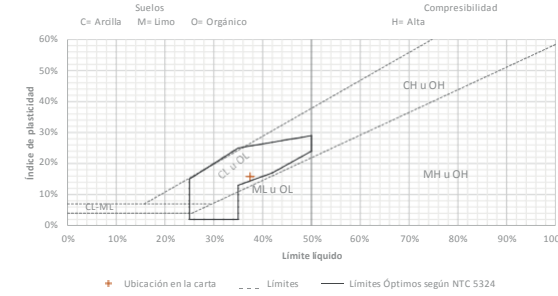
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7,73 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup> 21 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup> 20,39 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g) -----
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb 19,54%
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 14 x 29 cm
50% de arcilla o suelo plástico	



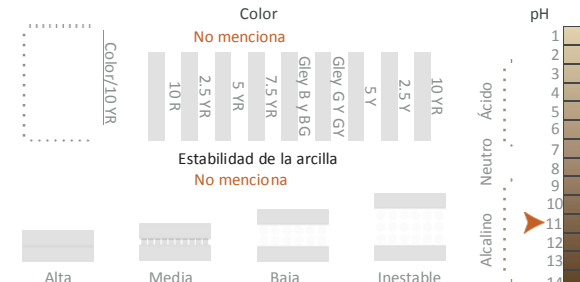
### Aditivos naturales



### Plasticidad



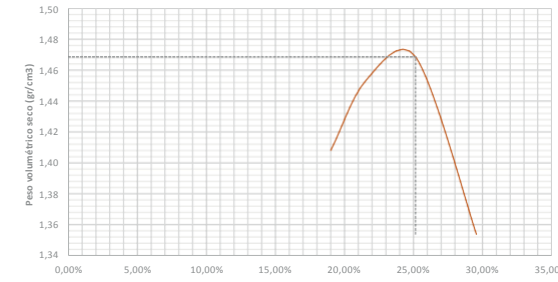
### Características de la tierra



### Aditivos especiales



### Ensayo Proctor



### Fabricación

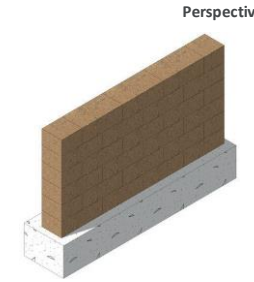


### Aditivo Impermeabilizante



### Bloque BTC

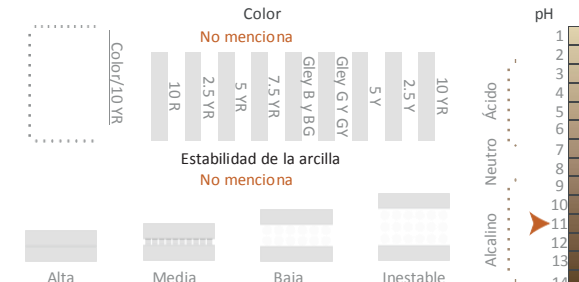
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7,73 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup> 52,52 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup> 34,57 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g) -----
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb 7,71%
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 14 x 29 cm
50% de arcilla o suelo plástico	



### Aditivos naturales



### Características de la tierra



### Aditivos especiales



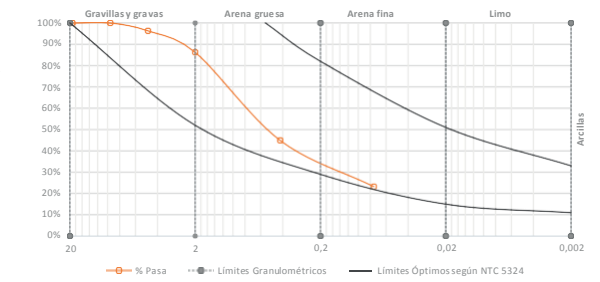
### Fabricación



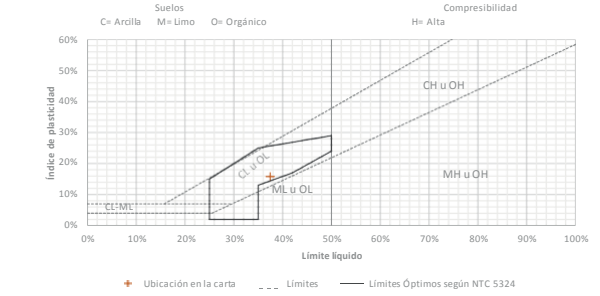
### Aditivo Impermeabilizante



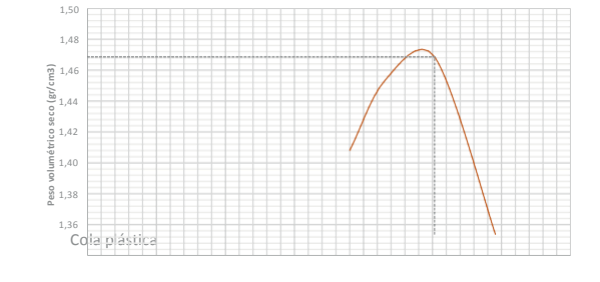
### Curva granulométrica




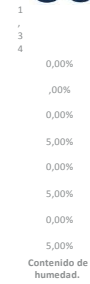
### Plasticidad



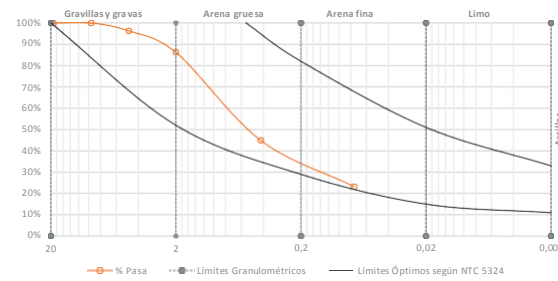
### Ensayo Proctor



Ninguno Intermitente Continuo Químico  Media Alta Emulsión asfáltica Aceite quemado Sellador comercial Cal Cola plástica Cera de parafina

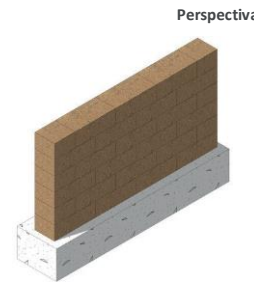


### Curva granulométrica



### Panel BTC

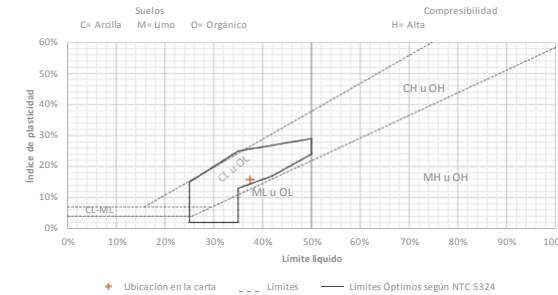
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7,73 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup> 53,33 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup> 37,73 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g) -----
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb 6,08%
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 14 x 29 cm
50% de arcilla o suelo plástico	



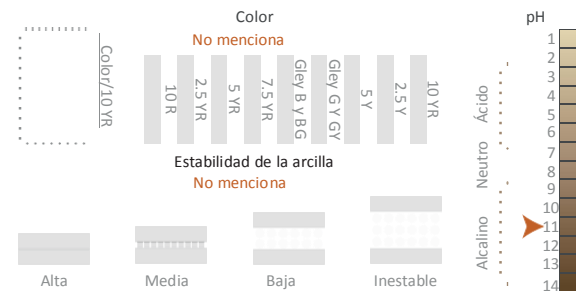
### Aditivos naturales



### Plasticidad



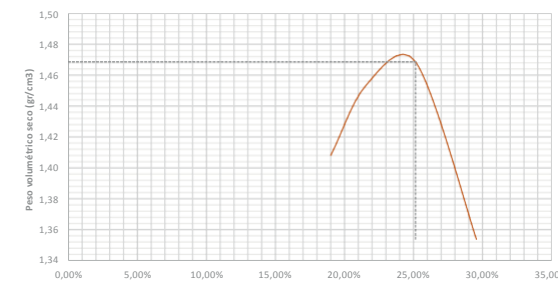
### Características de la tierra



### Aditivos especiales



### Ensayo Proctor



### Fabricación

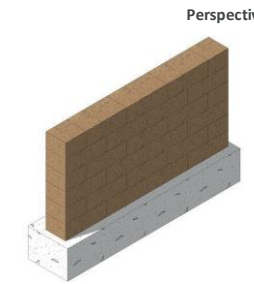


### Aditivo Impermeabilizante



### Bloque BTC

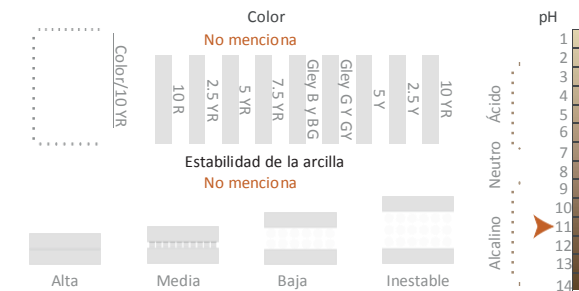
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7,73 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup> 57,51 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup> 35,38 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g) -----
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb 9,91%
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 14 x 29 cm
50% de arcilla o suelo plástico	



### Aditivos naturales



### Características de la tierra



### Aditivos especiales



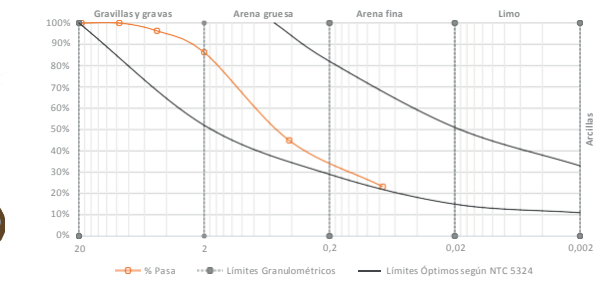
### Fabricación



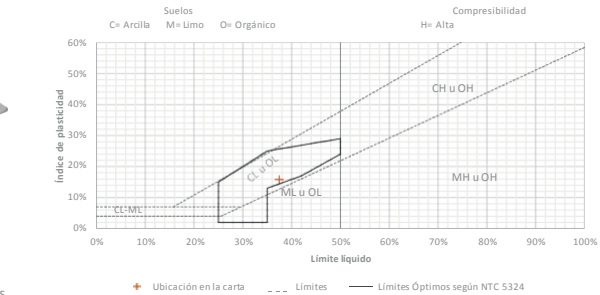
### Aditivo Impermeabilizante



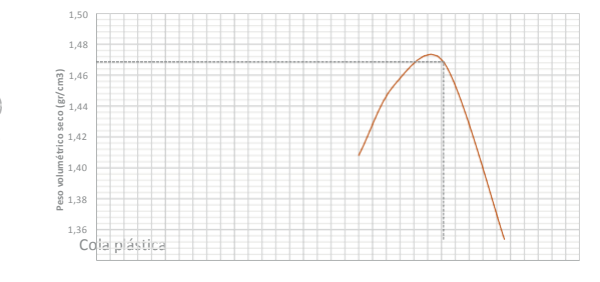
### Curva granulométrica




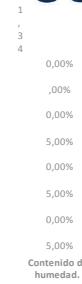
### Plasticidad



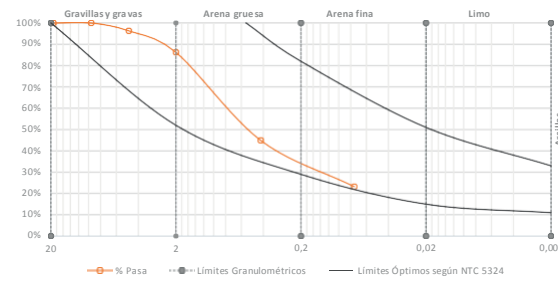
### Ensayo Proctor



Ninguno    Intermitente    Continuo    Químico     Media    Alta    Emulsión asfáltica    Aceite quemado    Sellador comercial    Cal    Cola plástica    Cera de parafina

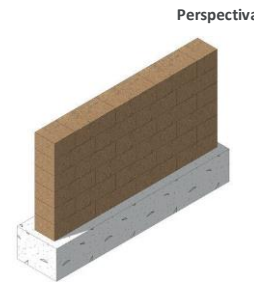


### Curva granulométrica



### Panel BTC

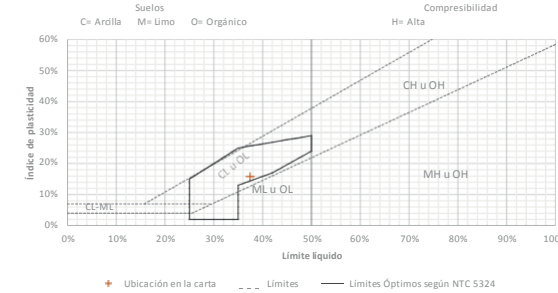
CARACTERÍSTICAS	
<b>NTC 5324</b>	<b>BTC 7,73 Kg</b>
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 14 x 29 cm
50% de arcilla o suelo plástico	



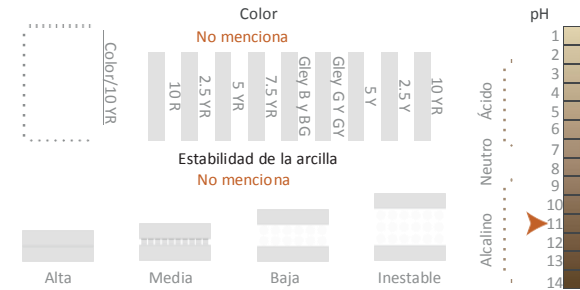
### Aditivos naturales



### Plasticidad



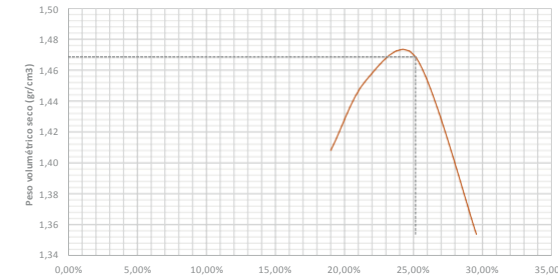
### Características de la tierra



### Aditivos especiales



### Ensayo Proctor



### Fabricación

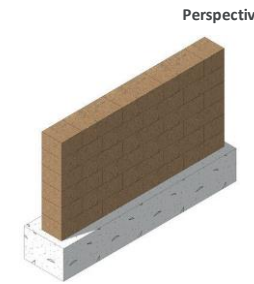


### Aditivo Impermeabilizante



### Bloque BTC

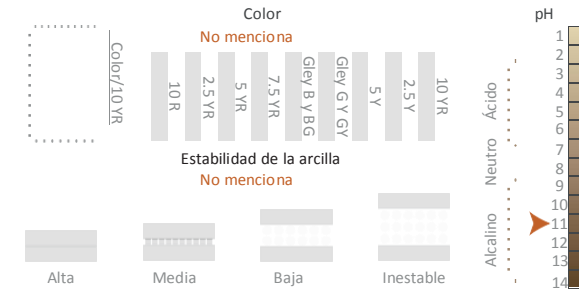
CARACTERÍSTICAS	
<b>NTC 5324</b>	<b>BTC 7,73 Kg</b>
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm <sup>2</sup> /g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 14 x 29 cm
50% de arcilla o suelo plástico	



### Aditivos naturales



### Características de la tierra



### Aditivos especiales



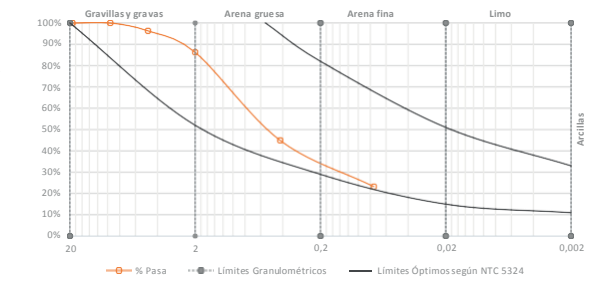
### Fabricación



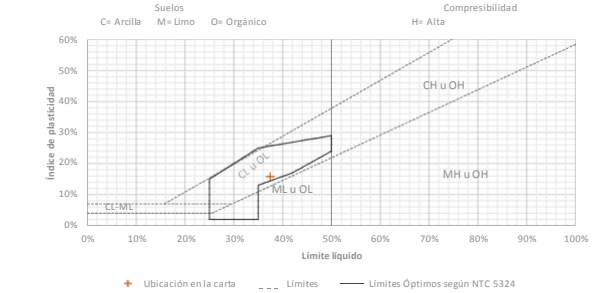
### Aditivo Impermeabilizante



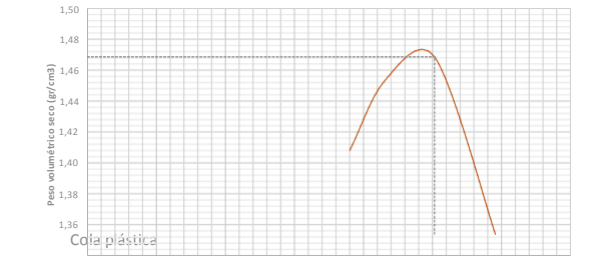
### Curva granulométrica



### Plasticidad



### Ensayo Proctor



# UCUENCA

Cera deparafina

Ningun  
o

Intermitente

Continuo

Químico



Media

Alta

Emulsión  
asfáltica

Aceite  
quemado

Sellador  
comercial

Cal

Cola  
plástica

Cera de  
parafina

194

# UCUENCA

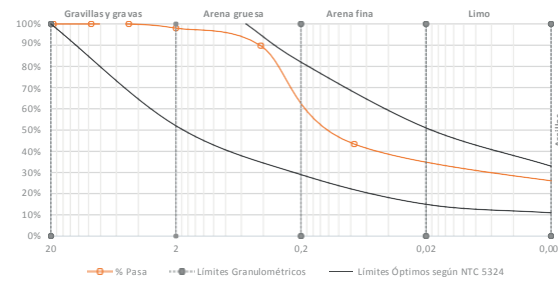
1  
3  
4

0,00% 5  
,00% 1  
0,00% 1  
5,00% 2  
0,00% 2  
5,00% 2  
0,00% 3  
0,00% 3  
5,00% 3

Contenido de  
humedad.

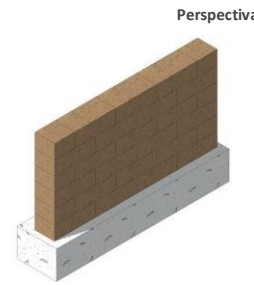
195

### Curva granulométrica



### Panel BTC

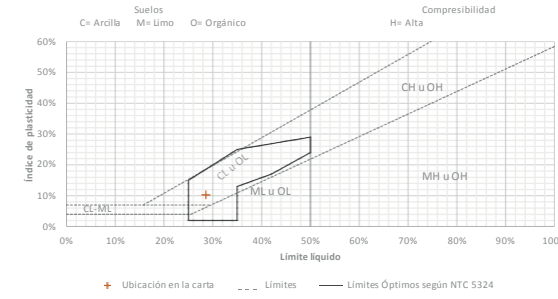
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7- 8 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm2
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm2
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm2/g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación 10 x 15 x 15 cm	
18% de arcilla - 24% de limo - 58% de arena	



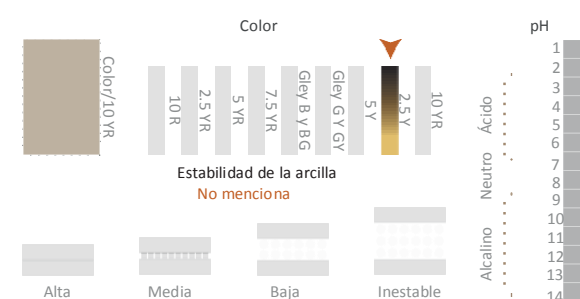
### Aditivos naturales



### Plasticidad



### Características de la tierra



### Aditivos especiales



### Ensayo Proctor



### Fabricación

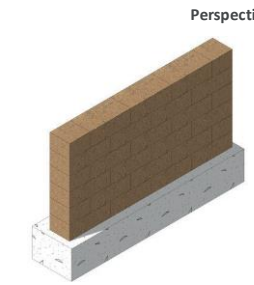


### Aditivo Impermeabilizante



### Bloque BTC

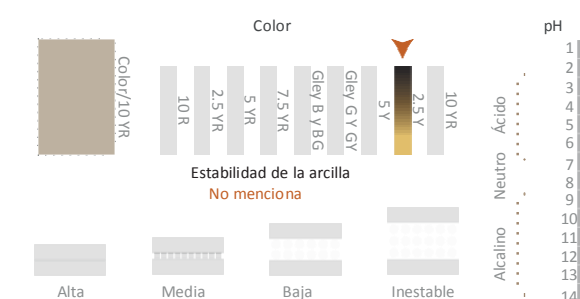
CARACTERÍSTICAS	
NTC 5324	BTC 7- 8 Kg
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm2
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm2
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm2/g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación 10 x 15 x 15 cm	
18% de arcilla - 24% de limo - 58% de arena	



### Aditivos naturales



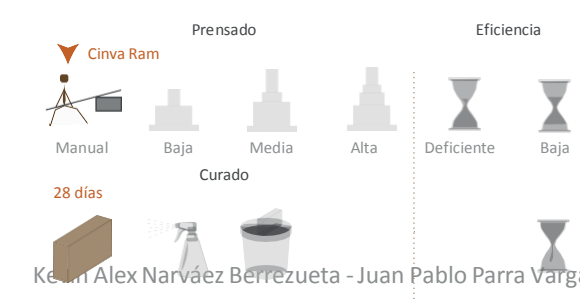
### Características de la tierra



### Aditivos especiales



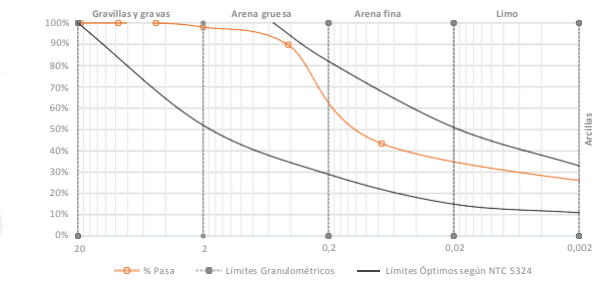
### Fabricación



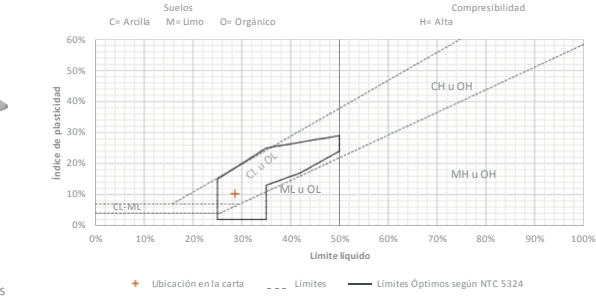
### Aditivo Impermeabilizante



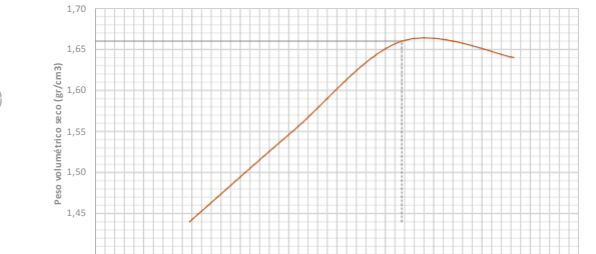
### Curva granulométrica



### Plasticidad

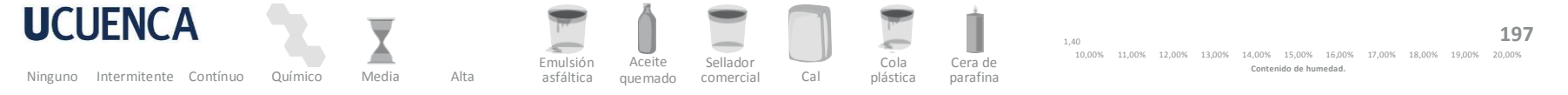


### Ensayo Proctor



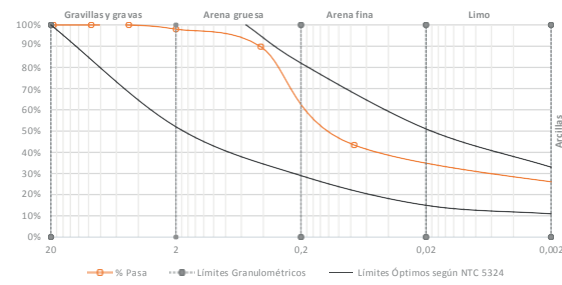


Ninguno Intermittente Continuo Químico Media Alta Emulsión asfáltica Aceite quemado Sellador comercial Cal Cola plástica Cera de parafina 196



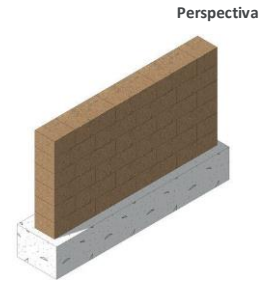
Ninguno Intermittente Continuo Químico Media Alta Emulsión asfáltica Aceite quemado Sellador comercial Cal Cola plástica Cera de parafina

### Curva granulométrica



### Panel BTC

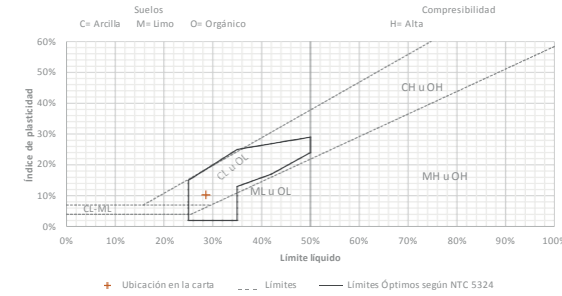
CARACTERÍSTICAS	
<b>NTC 5324</b>	<b>BTC 7- 8 Kg</b>
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm2
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm2
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm2/g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 15 x 15 cm
<b>18 % de arcilla - 24 % de limo - 58% de arena</b>	



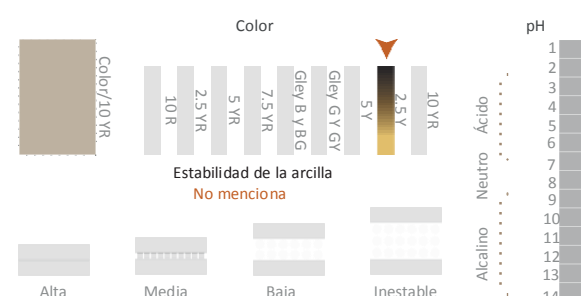
### Aditivos naturales



### Plasticidad



### Características de la tierra



### Aditivos especiales



### Ensayo Proctor



### Fabricación

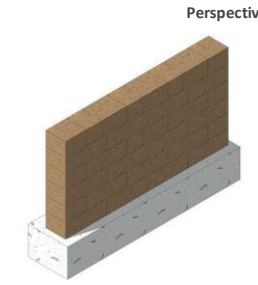


### Aditivo Impermeabilizante



### Bloque BTC

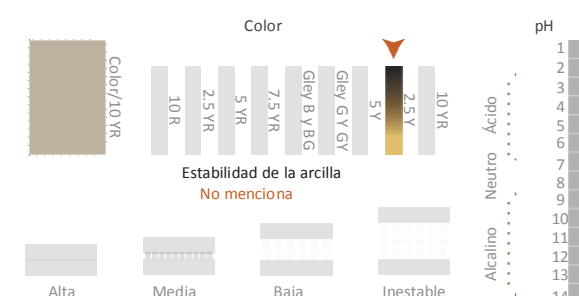
CARACTERÍSTICAS	
<b>NTC 5324</b>	<b>BTC 7- 8 Kg</b>
Compresión seca	Entre 20 y 61 Kg/cm2
Compresión húmeda	Entre 10 y 30 Kg/cm2
Resistencia a la abrasión	Entre 2 y 7 ca (cm2/g)
Coefficiente de capilaridad	Entre 20 y 40 Cb
Dimensiones	14 x 9,5 x 29,5 cm
Dosificación	10 x 15 x 15 cm
<b>18 % de arcilla - 24 % de limo - 58% de arena</b>	



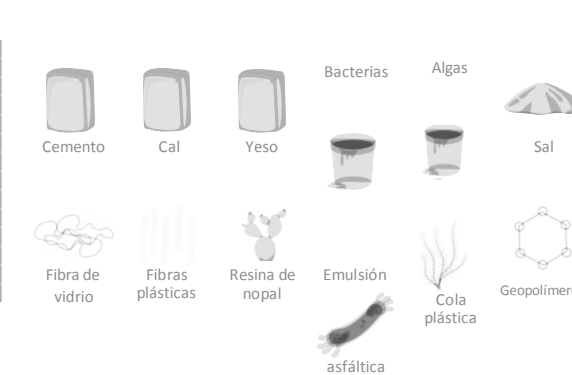
### Aditivos naturales



### Características de la tierra



### Aditivos especiales



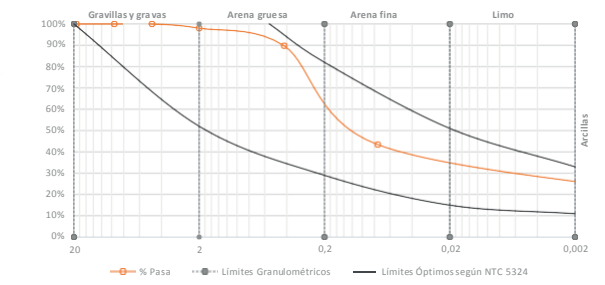
### Fabricación



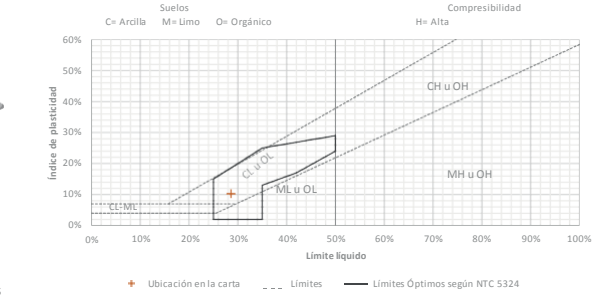
### Aditivo Impermeabilizante



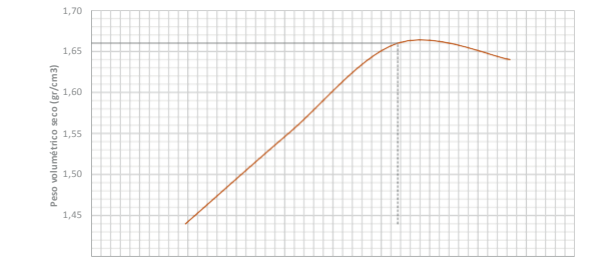
### Curva granulométrica



### Plasticidad



### Ensayo Proctor





- Ninguno
- Intermitente
- Continuo
- Químico
- Media
- Alta
- Emulsión asfáltica
- Aceite quemado
- Sellador comercial
- Cal
- Cola plástica
- Cera de parafina



- Ninguno
- Intermitente
- Continuo
- Químico
- Media
- Alta
- Emulsión asfáltica
- Aceite quemado
- Sellador comercial
- Cal
- Cola plástica
- Cera de parafina



## Anexo B (Aditivos)

Tabla 40 Especificaciones de aditivo - algas

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_01	Algas	
<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>		
El alginato es un polisacárido de origen natural que se encuentra en las paredes celulares de las algas marinas pardas.	Aporta un mayor tiempo de manipulación (señalan hasta 9 minutos) desde la activación del proceso de la gelificación con el aporte de una cantidad de agua inferior. (Perrot et Al, 2018)		
<b>Datos técnicos</b>			
Presentación:	Kg	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	9810	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	1000	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	91	Disponibilidad:	Bajo

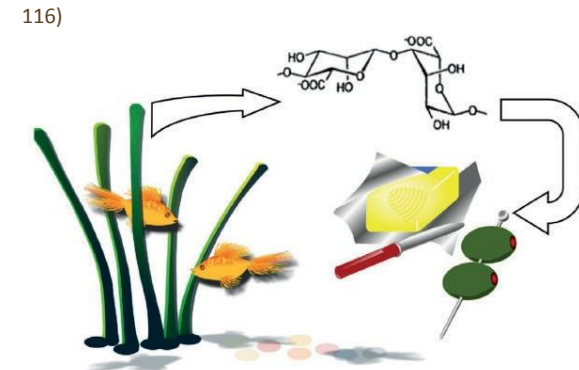


Figura 116 Los alginatos: 20000 usos de las algas submarinas. Ayarza (2014).

Figura 117 Sand mine in the Czech Republic, Bratčice. Sáček (2009)

Tabla 42 Especificaciones de aditivo - bacterias

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_03	Bacterias	
<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>		
La bacteria Sporosarcina Pasteurii es un organismo que precipita la calcita	Capacidades regenerativas de fisuras por bacterias precipitadoras de calcita. Incremento de capacidad portante en tierra. Acelerar la actividad de biomineralización		
<b>Datos técnicos</b>			
Presentación:	-	Costo:	Alto
Peso específico (N/m3):	-	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	-	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Bajo

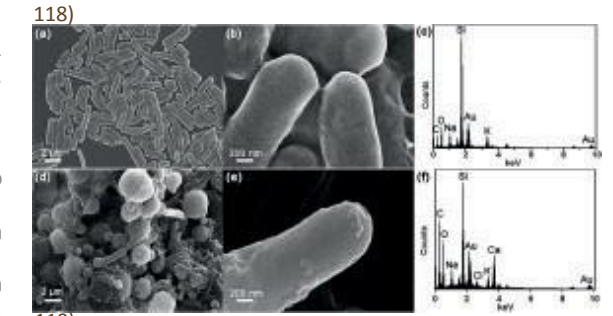


Tabla 43 Especificaciones de aditivo - cabello

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_04	Cabello	
<b>Descripción</b>	<b>Ventajas</b>		
Fibras de queratina originadas en el cuero cabelludo.	Absorción de micro fisuras por contracción de material en el secado		
<b>Datos técnicos</b>			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	-	Conductividad eléctrica:	Alta
Densidad (Kg/m3):	-	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	230	Disponibilidad:	Alto

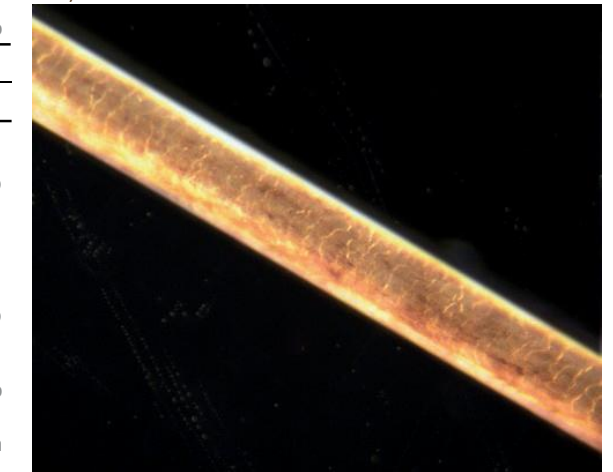


Figura 118 Sporosarcina pasteurii can form nanoscale calcium carbonate crystals on cell surface. Ghosh et al. (2019).

Figura 119 Cabello humano ampliado 200 vcs. Homann (2006).

**Tabla 44** Especificaciones de aditivo - cascarilla de arroz

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_05	Cascarilla de Arroz	
Descripción	Ventajas		
Es un subproducto del proceso de molido del grano de arroz.	Ayuda a controlar agrietamiento, mejorar capacidades portantes y de tracción.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	13930.2	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	1420	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	650	Disponibilidad:	Medio



120)



**Figura 120** Cascarilla de arroz. Plantas.ec (2022).

**Figura 121** Ceniza volcánica. Banco Bilbao Vizcaya Argentina, S.A. (2022).

Kevin Alex Narvárez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

**Tabla 45** Especificaciones de aditivo - cenizas volcánicas

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_06	Ceniza Volcánica	
Descripción	Ventajas		
Partículas de roca menor a 2mm con altos contenidos de azufre y aluminio.	Presentan características cementantes.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	5395.5	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	550	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	1100	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	1600	Disponibilidad:	Bajo

**Tabla 46** Especificaciones de aditivo - fibra aserrín

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_07	Fibra de Aserrín	
Descripción	Ventajas		
Pequeñas partículas de madera que aparecen como desperdicio de los aserraderos.	Ayuda a controlar agrietamiento, mejorar capacidades portantes y de tracción.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	2697.75	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	275	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	250	Disponibilidad:	Alto

122)



123)



**Tabla 47** Especificaciones de aditivo - fibra de bagazo de plátano

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_08	Fibra de bagazo de Plátano	
Descripción	Ventajas		
Residuos de la planta de plátano que es enormemente desaprovechada por los agricultores. Sin embargo presenta un gran potencial como estabilizador de BTC.	Ayuda a controlar agrietamiento, mejorar capacidades portantes y de tracción.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	6572.7	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	670	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	60	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	430	Disponibilidad:	Medio

**Figura 122** Aserrín. Freepik Company (2023).

**Figura 123** Fibra de banano. Inpadesa (2016).

Kevin Alex Narvárez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

**Tabla 48** Especificaciones de aditivo - fibra de cabuya

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_09	Fibra de Cabuya	
Descripción	Ventajas		
Producto que se extrae de las hojas del penco y se debe recortar en tramos menores a 10 cm.	Ayuda a controlar agrietamiento, mejorar capacidades portantes y de tracción.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	6523.65	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	665	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	Nulo	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Alto

**Tabla 49** Especificaciones de aditivo - fibra de cañamo

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_10	Fibra de Cañamo	
Descripción	Ventajas		
Una de las fibras más duraderas y resistentes.	Ayuda a controlar agrietamiento, mejorar capacidades portantes y de tracción.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	10791	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	1100	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	175	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	195	Disponibilidad:	Bajo

124)



125)



**Figura 124** Madeja de hilo natural de cabuya. Fibras y Artesanías en Cabuya (2020).

**Figura 125** Fibras de cañamo. iStock (2023).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

**Tabla 50** Especificaciones de aditivo - fibra de carrizo

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_11	Fibra de Carrizo	
Descripción	Ventajas		
Carrizo triturado hasta obtener fibras pequeñas de 2 a 4 cm.	Ayuda a controlar agrietamiento, mejorar capacidades portantes y de tracción.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	-	Conductividad eléctrica:	-
Densidad (Kg/m3):	-	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Alto

**Tabla 51** Especificaciones de aditivo - Fibra de coco

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_12	Fibra de Coco	
Descripción	Ventajas		
Residuo hebroso del coco con ciertas características de resistencia y durabilidad.	Ayuda a controlar agrietamiento, mejorar capacidades portantes y de tracción.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	910	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	92.76	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	165	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	590	Disponibilidad:	Medio

126)



127)



**Figura 126** Fibra de carrizo.

**Figura 127** Fibra de coco. Jardinedia (2017).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

128)



129)



Figura 128 Fibra de paja. Hepsiburada (s.f).

Figura 129 Fibra de totora. Artesanias de Chile (2022).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 52 Especificaciones de aditivo - fibra de paja

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_13	Fibra de Paja	
Descripción	Ventajas		
Tallo seco de ciertas gramíneas como los cereales.	Ayuda a controlar agrietamiento, mejorar capacidades portantes y de tracción.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	2943	Conductividad eléctrica:	-
Densidad (Kg/m3):	300	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Media
Punto de ignición (°C):	95	Disponibilidad:	Bajo

Tabla 53 Especificaciones de aditivo - fibra de totora

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_14	Fibra de Totora	
Descripción	Ventajas		
Fibras con muy baja densidad. Muy común encontrarla en esteros y pantanos.	Mejora propiedades de aislamiento térmico.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	1765.8	Conductividad eléctrica:	-
Densidad (Kg/m3):	180	Conductividad térmica:	Media
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Alto

Tabla 54 Especificaciones de aditivo - lana de oveja

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_15	Lana de Oveja	
Descripción	Ventajas		
Fibras compuestas por queratina.	Tiene propiedades acústicas, resistencia estática, transferencia de humedad, resistente al fuego y parásitos..		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Alto
Peso específico (N/m3):	147.15	Conductividad eléctrica:	Alta
Densidad (Kg/m3):	15	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	Nulo	Huella de carbono:	Media
Punto de ignición (°C):	585	Disponibilidad:	Medio

130)



131)



Tabla 55 Especificaciones de aditivo - resina de nopal

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_16	Resina de Nopal	
Descripción	Ventajas		
También llamado baba de nopal, producto que se extrae directamente de la planta.	Propiedad de retención de agua.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	9005.58	Conductividad eléctrica:	-
Densidad (Kg/m3):	918	Conductividad térmica:	-
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Medio

Figura 130 Lana de oveja. Gatón (2021).

Figura 131 Resina de nopal. Coop (2022).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 56 Especificaciones de aditivo - temperatura

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AEN_17	Temperatura	
Descripción	Ventajas		
Algunos polímeros se forman bajo ciertas temperaturas, dependiendo del tipo de arcillas.	Aumentan propiedades de resistencia mecánica.		
Datos técnicos			
Presentación:	°C	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	-	Conductividad eléctrica:	-
Densidad (Kg/m3):	-	Conductividad térmica:	-
Punto de fusión (°C):	0 a 100	Huella de carbono:	Media
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Bajo

Tabla 57 Especificaciones de aditivo - aceite de linaza

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIN_01	Aceite de Linaza	
Descripción	Ventajas		
Se extrae directamente de las semillas de lino, tiene consistencia viscosa que permite crear películas al ser aplicado.	Propiedades impermeabilizantes. Además, evita el crecimiento de hongos y actúa como insecticida.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Alto
Peso específico (N/m3):	9123.3	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	930	Conductividad térmica:	Alta
Punto de fusión (°C):	-16 a -20	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	315	Disponibilidad:	Alto



Figura 132 Temperatura. De Dirk Ingo Franke (2011).

Figura 133 Aceite de linaza. SarArtes (2021).

Tabla 58 Especificaciones de aditivo - melaza

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIN_02	Melaza	
Descripción	Ventajas		
Miel de origen vegetal, se obtiene de la caña de azúcar.	Propiedades impermeabilizantes.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	11575.8	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	1180	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Medio

Tabla 59 Especificaciones de aditivo - miel de abeja

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIN_03	Miel de Abeja	
Descripción	Ventajas		
Es el producto de la deshidratación del néctar de las flores.	Propiedades impermeabilizantes.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Alto
Peso específico (N/m3):	13930.2	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	1420	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	40 a 50	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	600	Disponibilidad:	Bajo



Figura 134 Melaza. iStock (2021).

Figura 135 Miel de abeja. George (2022).

Tabla 60 Especificaciones de aditivo - resina de pino

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIN_04	Resina de Pino	
Descripción	Ventajas		
Se obtiene de los arboles de pino, fluye a través de la savia.	Propiedades impermeabilizantes.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	9319.5	Conductividad eléctrica:	-
Densidad (Kg/m3):	950	Conductividad térmica:	-
Punto de fusión (°C):	100 a 150	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	240	Disponibilidad:	Medio

136)



137)



Figura 136 M Resina de pino. Acronaturaleza (2022).

Figura 137 Cal. HORCALSA (2022).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 62 Especificaciones de aditivo - cemento

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AES_02	Cemento	
Descripción	Ventajas		
Formado a travez de caliza y arcillas calcinadas.	Propiedad de endurecimiento en contacto con el agua.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	14126.4	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	1440	Conductividad térmica:	Media
Punto de fusión (°C):	1600	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	Nulo	Disponibilidad:	Alto

138)



Tabla 63 Especificaciones de aditivo - cola plástica

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AES_03	Cola plástica	
Descripción	Ventajas		
Es un adhesivo a base de polímeros.	Propiedades de impermeabilización y rápido curado.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Alto
Peso específico (N/m3):	11673.9	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	1190	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	50 a 160	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	432	Disponibilidad:	Alto

139)



Figura 138 Cemento. Rubi (2022).

Figura 139 Cola plástica. Pintulac (2021).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

140)



**Tabla 64** Especificaciones de aditivo - emulsión asfáltica

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AES_04	Emulsión asfáltica	
Descripción	Ventajas		
Es una mezcla de asfalto con agua.	Propiedades de impermeabilizantes.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Alto
Peso específico (N/m3):	21582	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	2200	Conductividad térmica:	Media
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	300	Disponibilidad:	Alto

141)



**Tabla 65** Especificaciones de aditivo - fibras plásticas

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AES_05	Fibras plásticas (PET)	
Descripción	Ventajas		
Fibras de origen plástico en longitudes pequeñas.	Aumentan propiedades de resistencia mecánica.		
Datos técnicos			
Presentación:	kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	13243.5	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	1350	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	267	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	500	Disponibilidad:	Alto

**Figura 140** Emulsión asfáltica. Sanchez (2020).

**Figura 141** Fibra plástica PET. Juárez (s.f).

**Tabla 66** Especificaciones de aditivo - fibra de vidrio

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AES_06	Fibras de vidrio	
Descripción	Ventajas		
Numerosos filamentos cerámicos.	Aumenta propiedades térmicas y mecánicas.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	25506	Conductividad eléctrica:	Nula
Densidad (Kg/m3):	2600	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	1200	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	Nulo	Disponibilidad:	Alto

142)



**Tabla 67** Especificaciones de aditivo - sal

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AES_07	Sal	
Descripción	Ventajas		
Compuesto químico formado por la unión de iones.	Estabilizante de arcillas.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	21189.6	Conductividad eléctrica:	Alta
Densidad (Kg/m3):	2160	Conductividad térmica:	Alta
Punto de fusión (°C):	801	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Alto

143)



**Figura 142** Fibra de vidrio. Schmachtenberg (s.f).

**Figura 143** Sal. Infosalus (2014).

**Tabla 68** Especificaciones de aditivo - yeso

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AES_08	Yeso	
Descripción	Ventajas		
Es sulfato de calcio hemihidrato, también conocido como yeso cocido o yeso de París. Se comercializa molido, en forma de polvo, que una vez amasado con agua, puede ser utilizado	Favorece el desencofrado y transporte Mejora las capacidades de resistencia a compresión		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Alto
Peso específico (N/m3):	22563	Conductividad eléctrica:	Media
Densidad (Kg/m3):	2300	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	100 a 150	Huella de carbono:	Media
Punto de ignición (°C):	1000	Disponibilidad:	Alto

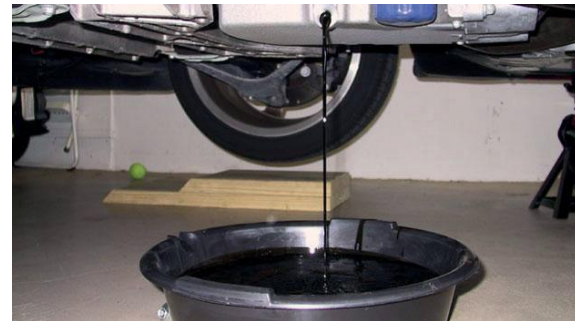
**Tabla 69** Especificaciones de aditivo - aceite quemado

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIS_01	Aceite quemado	
Descripción	Ventajas		
Líquidos grasos de orígenes diversos, posterior a su uso (agotado por quemadura); no se disuelven en el agua, tienen menor densidad que esta.	Propiedades impermeabilizantes.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	8838.81	Conductividad eléctrica:	Nula
Densidad (Kg/m3):	901	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	76	Disponibilidad:	Alto

144)



145)



**Figura 144** Sela (2022). Yeso.

**Figura 145** Aceite quemado. CUIDEMOSNUESTRARG (2022).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

**Tabla 70** Especificaciones de aditivo - cal

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIS_02	Cal	
Descripción	Ventajas		
Es una sustancia alcalina compuesta por óxido de calcio.	Propiedades de retención de agua y de endurecimiento.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	32765.4	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	3340	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	2572	Huella de carbono:	Media
Punto de ignición (°C):	Nulo	Disponibilidad:	Medio

**Tabla 71** Especificaciones de aditivo - cáscara de camarón

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIS_03	Cáscara de Camarón	
Descripción	Ventajas		
La piel de los camarones tiene una sustancia llamada quitina, de la cual a su vez se obtiene el quitosano, un polímero presente en los exoesqueletos de algunos crustáceos e insectos y en las paredes celulares de los hongos.	Propiedades impermeabilizantes por medio de sintetización de geomembranas		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Alto
Peso específico (N/m3):	6518.941	Conductividad eléctrica:	-
Densidad (Kg/m3):	664.52	Conductividad térmica:	-
Punto de fusión (°C):	152.5	Huella de carbono:	Baja
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Medio

146)



147)



**Figura 146** Cal. HORCALSA (2022).

**Figura 147** Cáscara de camarón. El Universo (2018).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

Tabla 72 Especificaciones de aditivo - caseína (suero de leche)

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIS_04	Caseína (suero de leche)	
Descripción	Ventajas		
La caseína es una fosfoproteína presente en la leche y en algunos de sus derivados. En la leche, se encuentra asociada al calcio, formando agregados que se denominan micelas de caseína.	Propiedades impermeabilizantes.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	10084.68	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	1028	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Media
Punto de ignición (°C):	-	Disponibilidad:	Alto

148)



149)



Figura 148 Caseína (suero). HRS (2022).

Figura 149 Cola plástica. Pintulac (2021).

Tabla 74 Especificaciones de aditivo - cera de parafina

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIS_06	Cera de parafina	
Descripción	Ventajas		
Parafina es el nombre común de un grupo de hidrocarburos alcanos de fórmula general $C_nH_{n+2}$ , donde n es el número de átomos de carbono.	Propiedades impermeabilizantes.		
Datos técnicos			
Presentación:	Kg	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	8829	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	900	Conductividad térmica:	Baja
Punto de fusión (°C):	40 a 65	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	199	Disponibilidad:	Alto

150)



151)



Tabla 75 Especificaciones de aditivo - emulsión asfáltica

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
	AIS_07	Emulsión asfáltica	
Descripción	Ventajas		
Es una mezcla de asfalto con agua.	Propiedades de impermeabilizantes.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Bajo
Peso específico (N/m3):	21582	Conductividad eléctrica:	Baja
Densidad (Kg/m3):	2200	Conductividad térmica:	Media
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	300	Disponibilidad:	Alto

Figura 150 Cera de parafina. REPSOL (2023).

Figura 151 Emulsión asfáltica. Sanchez (2020).

Tabla 76 Especificaciones de aditivo - sellador comercial Maxilane, Intaco

ESPECIFICACIONES DE ADITIVO			
Código	Nombre		
AIS_08	Sellador comercial Maxilane, Intaco		
Descripción	Ventajas		
Sellador penetrante de acabado mate, a base de silanos, siloxanos y solventes, especialmente formulado para proteger superficies verticales contra la penetración de agua y contaminantes ligeros, en interiores y exteriores.	Penetra en la superficie, no deja membrana superficial. Hidrorrepelente de secado rápido. Protege las superficies contra agua y afines. Permite el paso de vapor de agua. Larga protección, alta resistencia alcalina. Fácil aplicación con brocha, rodillo o atomizadora.		
Datos técnicos			
Presentación:	Lt	Costo:	Medio
Peso específico (N/m3):	7848	Conductividad eléctrica:	-
Densidad (Kg/m3):	800	Conductividad térmica:	-
Punto de fusión (°C):	-	Huella de carbono:	Alta
Punto de ignición (°C):	38	Disponibilidad:	Alto

152)



Figura 152 Sellador mate maxilane. Maxilane (2020).

Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas



Kevin Alex Narváez Berrezueta - Juan Pablo Parra Vargas

## Anexo C (Laboratorio)

Tabla 77 Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T\_01

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA - T01 CHALLUABAMBA							
Tamices	Apertura (mm)	Peso de Tamiz (g)	P. Tamiz+ Arena (g)	P. Arena retenida(g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
#4	4,75	489,10	489,10	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
#8	2,36	481,40	483,40	2,00	7,69%	7,69%	92,31%
#16	1,18	443,00	450,80	7,80	30,00%	37,69%	62,31%
#30	0,6	374,75	382,00	7,25	27,88%	65,58%	34,42%
#50	0,3	344,80	345,95	1,15	4,42%	70,00%	30,00%
#100	0,15	325,00	326,07	1,07	4,12%	74,12%	25,88%
#200	0,075	337,45	338,23	0,78	3,00%	77,12%	22,88%
#Fondo	----	362,00	367,95	5,95	22,88%	100,00%	0,00%
PORCENTAJES POR HIDROMETRÍA							
----	0,03962639						22,88%
----	0,02506193						22,88%
----	0,01469995						21,79%
----	0,01039443						21,79%
----	0,00871039						20,70%
----	0,00375694						18,52%
----	0,00156941						14,82%

Tabla 78 Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T\_02

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA - T02 MONAY							
Tamices	Apertura (mm)	Peso de Tamiz (g)	P. Tamiz+ Arena (g)	P. Arena retenida(g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
#4	4,75	489,10	489,10	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
#8	2,36	481,40	481,40	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
#16	1,18	443,00	443,30	0,30	1,13%	1,13%	98,87%
#30	0,6	374,75	375,20	0,45	1,69%	2,82%	97,18%
#50	0,3	344,80	347,70	2,90	10,90%	13,72%	86,28%
#100	0,15	325,00	337,70	12,70	47,74%	61,47%	38,53%
#200	0,075	337,45	340,00	2,55	9,59%	71,06%	28,94%
#Fondo	----	362,00	369,70	7,70	28,94%	100,00%	0,00%
PORCENTAJES POR HIDROMETRÍA							
----	0,03962639						28,94%
----	0,02506193						27,78%
----	0,01469995						26,63%
----	0,01039443						26,63%
----	0,00871039						24,31%
----	0,00375694						22,92%
----	0,00156941						22,00%

Tabla 79 Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T\_03

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA - T03 NULTI							
Tamices	Apertura (mm)	Peso de Tamiz (g)	P. Tamiz+ Arena (g)	P. Arena retenida(g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
#4	4,75	489,10	489,10	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
#8	2,36	481,40	481,40	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
#16	1,18	443,00	445,86	2,86	11,43%	11,43%	88,57%
#30	0,6	374,75	378,68	3,93	15,71%	27,14%	72,86%
#50	0,3	344,80	349,09	4,29	17,14%	44,29%	55,71%
#100	0,15	325,00	328,62	3,62	14,48%	58,77%	41,23%
#200	0,075	337,45	337,95	0,50	1,98%	60,75%	39,25%
#Fondo	----	362,00	371,81	9,81	39,25%	100,00%	0,00%
PORCENTAJES POR HIDROMETRÍA							
----	0,03962639						39,11%
----	0,02506193						38,83%
----	0,01469995						38,68%
----	0,01039443						38,46%
----	0,00871039						38,03%
----	0,00375694						17,93%
----	0,00156941						16,85%

Tabla 80 Distribución textural de suelos por tamizado e hidrometría T\_04

DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA - T04 DEUTA							
Tamices	Apertura (mm)	Peso de Tamiz (g)	P. Tamiz+ Arena (g)	P. Arena retenida(g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasa
#4	4,75	489,10	489,10	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
#8	2,36	481,40	481,40	0,00	0,00%	0,00%	100,00%
#16	1,18	443,00	445,10	2,10	9,17%	9,17%	90,83%
#30	0,6	374,75	379,20	4,45	19,43%	28,60%	71,40%
#50	0,3	344,80	350,10	5,30	23,14%	51,75%	48,25%
#100	0,15	325,00	329,62	4,62	20,19%	71,94%	28,06%
#200	0,075	337,45	338,02	0,57	2,50%	74,44%	25,56%
#Fondo	----	362,00	367,85	5,85	25,56%	100,00%	0,00%
PORCENTAJES POR HIDROMETRÍA							
----	0,03962639						25,56%
----	0,02506193						25,10%
----	0,01469995						22,08%
----	0,01039443						20,92%
----	0,00871039						19,75%
----	0,00375694						17,43%
----	0,00156941						15,11%

Tabla 81 Ensayo Proctor de suelo T\_01

ENSAYO PROCTOR - T01 CHALLUABAMBA					
Muestra	Wm + M	Wm	ym	% humedad	Yd
1	7013,7	1840,8	1,4119	10,86%	1,273549
2	7085,3	1912,4	1,4668	12,99%	1,298148
3	7285,3	2112,4	1,6202	21,21%	1,336695
4	7505,2	2332,3	1,7889	25,79%	1,422178
5	7640,9	2468	1,8930	32,28%	1,431098

Tabla 82 Ensayo Proctor de suelo T\_02

ENSAYO PROCTOR - T02 MONAY					
Muestra	Wm + M	Wm	ym	% humedad	Yd
4	5764,3	1598,6	1,9385	15,27%	1,681625
3	5830,3	1664,6	2,0185	17,82%	1,713206
5	5848,5	1682,8	2,0406	17,99%	1,729386
1	5883,4	1717,7	2,0829	21,79%	1,710248
2	5816,3	1650,6	2,0015	38,67%	1,443410

Tabla 83 Ensayo Proctor de suelo T\_03

ENSAYO PROCTOR - T03 NULTI					
Muestra	Wm + M	Wm	ym	% humedad	Yd
1	6980,2	1790,1	1,3730	10,99%	1,237099
2	7143,1	1953	1,4980	20,34%	1,244817
3	7225,1	2035	1,5609	20,05%	1,300205
4	7301,6	2111,5	1,6195	21,36%	1,334506
5	7486,5	2296,4	1,7614	31,93%	1,335116

Tabla 84 Ensayo Proctor de suelo T\_04

ENSAYO PROCTOR - T04 DEUTA					
Muestra	Wm + M	Wm	ym	% humedad	Yd
1	7076,9	1869,7	1,4341	7,53%	1,333697
2	7094,7	1887,5	1,4477	9,77%	1,318887
3	7180,5	1973,3	1,5135	12,36%	1,347055
4	7269,2	2062	1,5816	17,51%	1,345924
5	7430,7	2223,5	1,7055	22,25%	1,395060
6	7684,9	2477,7	1,9004	28,53%	1,478532

Tabla 85 Ensayo de plasticidad T\_01

ENSAYO DE PLASTICIDAD - T01 CHALLUABAMBA				
Procedencia del suelo	ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
	Challuabamba		Challuabamba	
Norma INEN	691		692	
Condiciones del suelo	Húmedo			
Periodo de reposo	18 horas			
Ensayo N°	1	2	3	1
N° de Golpes	37	26	16	No aplica
Recipiente N°	1	2	3	1
Masa del recipiente más suelo húmedo (g)	60,4	59,2	54,6	27,2
Masa del recipiente más suelo seco (g)	55,9	53,2	49,5	22,3
Masa del recipiente (g)	47,3	42	40,2	7,1
Masa del agua (g)	4,5	6	5,1	4,9
Masa del suelo seco (g)	8,6	11,2	9,3	15,2
Contenido de agua (%)	52%	54%	55%	32%

Tabla 86 Ensayo de plasticidad T\_02

ENSAYO DE PLASTICIDAD - T02 MONAY				
Procedencia del suelo	ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
	Monay		Monay	
Norma INEN	691		692	
Condiciones del suelo	Húmedo			
Periodo de reposo	18 horas			
Ensayo N°	1	2	3	1
N° de Golpes	38	23	22	No aplica
Recipiente N°	2	3	1	1
Masa del recipiente más suelo húmedo (g)	61	63,8	57,7	28
Masa del recipiente más suelo seco (g)	56,6	58,1	53,5	23
Masa del recipiente (g)	48	46,9	45,6	6,2
Masa del agua (g)	4,4	5,7	4,2	5
Masa del suelo seco (g)	8,6	11,2	7,9	16,8
Contenido de agua (%)	51%	51%	53%	30%

Tabla 87 Ensayo de plasticidad T\_03

ENSAYO DE PLASTICIDAD - T03 NULTI				
	ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO
	Nulti			692
Procedencia del suelo				
Norma INEN	691			
Condiciones del suelo	Húmedo			
Periodo de reposo	18 horas			
<b>Ensayo N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
N° de Golpes	39	26	15	No aplica
Recipiente N°	1	2	3	1
Masa del recipiente más suelo húmedo (g)	57,2	62,4	55,3	31,3
Masa del recipiente más suelo seco (g)	51,7	54,4	48,5	23,8
Masa del recipiente (g)	44,8	44,6	40,5	6,5
Masa del agua (g)	5,5	8	6,8	7,5
Masa del suelo seco (g)	6,9	9,8	8	17,3
Contenido de agua (%)	80%	82%	85%	43%

Tabla 88 Ensayo de plasticidad T\_04

ENSAYO DE PLASTICIDAD - T04 DEUTA				
	ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO
	Deuta			692
Procedencia del suelo				
Norma INEN	691			
Condiciones del suelo	Húmedo			
Periodo de reposo	18 horas			
<b>Ensayo N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
N° de Golpes	25	21	13	No aplica
Recipiente N°	3	1	2	1
Masa del recipiente más suelo húmedo (g)	17,8	21,8	28,7	31,4
Masa del recipiente más suelo seco (g)	15	17,1	22,7	25,5
Masa del recipiente (g)	8,8	6,2	9,4	6,8
Masa del agua (g)	2,8	4,7	6	5,9
Masa del suelo seco (g)	6,2	10,9	13,3	18,7
Contenido de agua (%)	45%	43%	45%	32%



