



**Universidad Autónoma de Chiapas**  
**Facultad de Ingeniería Campus I**



**Mejoramiento mecánico del bloque de tierra compactada elaborado con tierra natural de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas**

**Tesis que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción**

Presenta.

Bernardo Abraham Morales Martínez D101076

Director de tesis.

Dr. Alexander López González

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Mayo, 2024.



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas  
15 de abril del 2024  
Oficio No. F.I.01.659/2024

**C. BERNARDO ABRAHAM MORALES MARTÍNEZ**  
**EGRESADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN**  
**PRESENTE.**

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

**“MEJORAMIENTO MECÁNICO DEL BLOQUE DE TIERRA COMPACTADA ELABORADO CON TIERRA NATURAL DE LA CIUDAD DE TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS”.**


**CERTIFICO** el **VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la entrega de tesis digital elaborada a través del Programa Institucional para la Obtención del Grado Académico (PIGA), para que sea sustentado en su Examen de grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**

  
**DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTOIS**  
**DIRECTOR**



  
Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.  
Archivo/minutario  
OACC/HMSG/tcpg\*





Código: FO-113-05-05

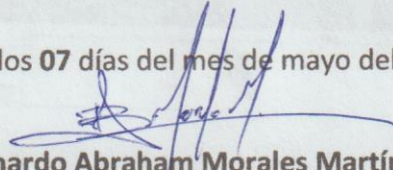
Revisión: 0

## CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) **Bernardo Abraham Morales Martínez**, Autor (a) de la tesis bajo el título de "**Mejoramiento mecánico del bloque de tierra compactada elaborado con tierra natural de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**" presentada y aprobada en el año **2024** como requisito para obtener el título o grado de **Maestro en ingeniería con formación en construcción**, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los **07** días del mes de mayo del año **2024**.

  
**Bernardo Abraham Morales Martínez**

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

## **Agradecimientos.**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas y a la universidad, que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis de maestría.

En primer lugar, deseo agradecer a mi director de tesis, al Dr. Alexander López González, por su orientación experta, apoyo y dedicación a lo largo de todo este proceso. Sus comentarios acertados y su orientación fueron fundamentales para dar forma a este trabajo. De igual manera a mis asesores, el Dr. Janio Alejandro Ruiz Sibaja y al Dr. Moisés Nazar Beutelspacher, cuyos comentarios y observaciones fueron de vital importancia en esta investigación.

Asimismo, quiero expresar mi profunda gratitud a la Mtra. Claudia Olivia Ichin Gómez, por su valiosa asesoría, guía y experiencia, la cual enriqueció enormemente este proyecto.

Agradezco sinceramente a Universidad Autónoma de Chiapas, por brindarme el apoyo y la oportunidad para llevar a buen término esta etapa de mi vida profesional. También estoy agradecido con el Programa Institucional para la obtención del Grado Académico, por su apoyo y por facilitarme los recursos y referencias necesarias para llevar a cabo este trabajo.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre por su amor incondicional, su apoyo emocional y por creer en mí en todo momento. Su apoyo y comprensión fueron fundamentales para alcanzar este logro.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron a este proyecto, mi más sincero agradecimiento. Sin su ayuda, este trabajo no habría sido posible.

¡Gracias!

Arq. Bernardo Abraham Morales Martínez.

## **Dedicatorias.**

Dedico este trabajo de investigación a las personas que han sido mi fuente constante de inspiración y apoyo a lo largo de este viaje académico.

A mi madre, Genoveva Martínez Gallegos, cuyo amor incondicional ha sido la base de mi educación y crecimiento personal. Su aliento y confianza en mí han sido mi mayor motivación.

A mi padre, Enrique Morales Cortes, que, desde el cielo, su recuerdo ha sido fuente de inspiración y fortaleza, en momentos importantes de mi vida, y una guía espiritual en tiempos de adversidad.

A mi gran amiga Lorena Estaban González, quien compartió conmigo esta gran etapa de formación, brindándome su apoyo, comprensión y alegría en cada paso del camino.

A todos aquellos que, de una manera u otra, han contribuido a mi crecimiento personal y académico, les dedico este logro. Su presencia en mi vida ha sido un regalo invaluable.

¡Gracias por ser parte de este proceso!

Arq. Bernardo Abraham Morales Martínez.

## Índice General.

Resumen. ....	13
Introducción. ....	14
Antecedentes. ....	14
Justificación. ....	15
Problemática. ....	15
Hipótesis. ....	17
Objetivos. ....	17
Capítulo 1. ....	20
Marco Teórico. ....	20
Tierra Cruda. Historia y Tradición. ....	21
Composición y Forma Del Bloque De Tierra Compactada. ....	22
Sostenibilidad Ambiental. ....	23
Eficiencia Energética. ....	24
Resistencia Estructural. ....	25
Uso Contemporáneo. ....	26
Desarrollos Tecnológicos. ....	28
El BTC En México. ....	28
El BTC. Ventajas y Desventajas. ....	29
Regulaciones y Normativas. ....	29
Capítulo 2. ....	31
Metodología. ....	31
Capítulo 3. ....	36
Resultados. ....	36
Muestra Empleada. ....	36
Unidad de Análisis. ....	38

Ensayo de las Probetas.....	41
Resultados de las probetas. ....	42
Consideraciones de importancia.....	44
Discusión. ....	45
Conclusiones. ....	46
Referencias.....	47
Anexos.....	49

## Índice de Tablas.

Tabla 1. Tamaño máximo de partículas y tamaño mínimo de la muestra. Instituto Nacional de vías. Normas de ensayo de materiales para carreteras. ....32

Tabla 2. Dosificación de las series para ensay. Elaboración propia. ....34

Tabla 3. Tabla de datos y resultados de los BTC con diferentes porcentajes de estabilizante. Elaboración propia. ....34



## Índice de Figuras.

Figura 1. Bloque de tierra comprimido macizo sin encajes. <a href="https://www.tierratec.com/productos/btc-gran-formato">https://www.tierratec.com/productos/btc-gran-formato</a> . ....	22
<i>Figura 2. Bloques de tierra compactada con machimbrado. Alternativas en la construcción de viviendas económicas.</i> .....	25
Figura 3. Casa CEB. Construida por AECT, San Antonio, Texas. E.U.A. Advanced Earthen Construction Technologies. <a href="https://aectearthblock.com/">https://aectearthblock.com/</a> . ....	26
Figura 4. Centro quirúrgico y de Salud. Léo. <a href="https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con tierra/">https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con tierra/</a> .....	27
Figura 5. BTC sólidos, elaborados con material de la región. Elaboración propia. ....	33
Figura 6. Tierra cribada, para la elaboración de los BTC. Elaboración propia. ....	33
Figura 7. Lugar de extracción de la muestra. Elaboración propia.....	37
Figura 8. Muestra de tierra con la que se elaboraron los BTC. Elaboración propia. ....	37
Figura 9. Resultante de la muestra pasada por la malla N. 40 en laboratorio. Elaboración propia. ....	37
Figura 10. Bolas de arcilla elaboradas con la muestra, para la prueba de resistencia seca. Antes y después. Elaboración propia. ....	37
Figura 11. Reacción de la muestra ante el ácido clorhídrico. Reacción fuerte. Elaboración propia. ....	37
Figura 12. Tierra lista para compactación dentro del molde metálico. Elaboración propia. ....	38
Figura 13. Bloque de BTC con 0% de estabilizante. Elaboración propia. ....	38
Figura 14. BTC elaborados con diferentes % de estabilizante. Elaboración propia. ....	38
Figura 15. Se realizó la toma de temperatura ambiente, así como la humedad relativa del espacio donde se mantuvieron los BTC durante los primeros 28 días. Elaboración propia. ....	40
Figura 16. BTC, durante su tiempo de curado en un ambiente a la sombra. Elaboración propia. ....	40
Figura 17. Máquina universal para compresión y tensión. Elaboración propia. ....	41

Figura 18. Ensayo de compresión del BTC estabilizado con cal. Elaboración propia. ....	41
Figura 19. Gráfica de la resistencia media a la compresión de las diferentes series ensayadas. Elaboración propia. ....	42
Figura 20. Resistencia mínima a la compresión permisible de la norma N.CMT.2.01.001/02. Elaboración propia. ....	43

## Índice de Anexos.

Tabla de datos y resultados de los BTC con diferentes porcentajes de estabilizante. Elaboración propia. ....	49
Ficha técnica de equipo de instrumental de laboratorio. Universidad Autónoma de Chiapas. ..	50
Norma mexicana N.CMT.2.01.001/02. "Normativa para infraestructura del transporte. ....	53
Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual) INV E-102-13. ....	56

## Resumen.

En un mundo cada vez más globalizado, donde una de las grandes problemáticas a nivel mundial son los altos niveles de contaminación que presenta el planeta, y tomando en cuenta que una de las principales fuentes de ésta, es la industria de la construcción, se busca contribuir, en la medida de lo posible, disminuir los niveles de gases de efecto invernadero que aporta esta industria, así como la utilización desmedida de los recursos naturales. Así, el objetivo principal de esta investigación es ofrecer una alternativa a los elementos constructivos convencionales como lo son el ladrillo de barro rojo recogido y el bloque de concreto, ya que, desde el punto de vista ecológico, los métodos de fabricación de estos, así como sus materias primas, son altamente contaminantes, por lo que se buscó una alternativa más amigable con el medio ambiente. Dentro de las técnicas ancestrales de construcción, se encuentra la del uso de materiales accesibles de las diferentes regiones, como lo es la de a base de tierra cruda; esto por su relativa sencillez de producción y fácil replicación en cualquier entorno con abundante materia prima, la tierra es abundante, reciclable y de fácil acceso. Específicamente, se utilizó el bloque de tierra comprimida o BTC, y con ella, se recurrió a estudiar y analizar la tierra natural que ofrece el lado sur poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas, para la elaboración de los bloques, y de los dos estabilizantes más comúnmente utilizados para el mejoramiento mecánico de estos, en esta investigación se recurrió a la cal hidratada, siendo esta la que presenta una huella de carbono más baja, es decir, contamina menos en su producción, que su contraparte, el cemento. Debido al tiempo establecido para este proyecto, es importante señalar que, en este trabajo sólo se buscó el mejoramiento mecánico a la compresión de los BTC. Se realizaron y ensayaron 5 series de probetas a diferente porcentaje de estabilizante. Una de ellas, con 0% de estabilizante como material de control, esto con el fin de establecer la resistencia media la compresión que presentan los BTC a diferentes porcentajes. Las probetas fueron ensayadas dentro del laboratorio de la Facultad de ingeniería campus I, de la Universidad Autónoma de Chiapas. Se obtuvieron resultados optimistas y favorables, ya que, si hubo un notable mejoramiento, sin dejar de lado que la tierra utilizada, por sí misma también presentó un buen comportamiento mecánico a la resistencia a la compresión. Los datos obtenidos, se cotejaron con lo establecido por la norma N.CMT.2.01.001/02 de la "Normativa para infraestructura del transporte", ya que esta es la que establece la resistencia mínima a la compresión para los elementos utilizados en la construcción, quedando así, clasificados los BTC que presentaron una mayor resistencia mecánica. Los resultados obtenidos en esta investigación

son provechosos para la continuación del desarrollo de los BTC elaborados con material de la región.

**Palabras clave:** Tierra cruda, Bloque de tierra comprimido, Resistencia mecánica, Alternativa ecológica.

## **Introducción.**

El tema principal de esta investigación es el mejoramiento mecánico del bloque de tierra compactada elaborado con tierra natural de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Esta investigación se realiza con la finalidad de ofrecer un sustituto alternativo, ecológico y funcional a los ladrillos de barro rojo recogido y a los bloques de concreto.

### **Antecedentes.**

Como resultado del sismo de 8.2 en escala de RICHTER en Chiapas, en septiembre del 2017, muchas viviendas resultaron dañadas. Más de 80 mil 500 viviendas afectadas, de las cuales alrededor de 58 mil sufrieron daños parciales y más de 22 mil debieron ser demolidas (Mandujano,2017). Y dado que un gran porcentaje de la población es de recursos limitados o de pocos recursos, alrededor del 78% de la población en el 2018 era considerada pobre según sus ingresos económicos (CONEVAL, 2020). Y a esto se le suma que:

En México el 45 % de las viviendas son vulnerables porque presentan deficiencias estructurales en muros y cubiertas, ya sea por la calidad de la materia prima empleada en la elaboración, o por el proceso constructivo utilizado, estas deficiencias técnico-constructivas, ponen en situación de riesgo estructural a 14 millones de viviendas ante fenómenos naturales y cambios climáticos, principalmente en las zonas rurales y periurbanas. (Guillén et al., 2021)

A raíz de esta problemática, nace la inquietud de ofrecer un sistema constructivo alternativo, cuyos beneficios sean: el bajo costo, la fácil elaboración y que sea replicable. Si a estos puntos se le suma un método constructivo amigable con el medio ambiente, indudablemente se tendría un método constructivo alternativo y ecológico. Por ello, en esta investigación se recurre a la utilización de la tierra como material constructivo, ya que desde tiempos ancestrales ha sido el material más abundante y asequible que ha tenido el ser humano.

Existen 12 técnicas de construcción con tierra, dentro de las que destacan el adobe, el bahareque, muros tapiales y el bloque de tierra comprimida (Jaramillo y Charry, 2017, p. 33). En esta investigación, se buscó la utilización y la optimización de los bloques de tierra compactada, por su método de elaboración, ya que es una de las técnicas de fácil replicación en comparación al adobe o al muro tapial, por ejemplo.

El bloque de tierra compactada o comprimida, o también conocido por sus siglas como “BTC”, es un mampuesto fabricado mediante la compresión o el prensado de un mortero de suelo estabilizado (Cabrera et al., 2020, p. 2).

### **Justificación.**

El BTC puede ser usado en cualquier tipo de construcción, ya que es un material accesible, disponible y adaptable en cualquier región del país; puede sustituir a los ladrillos de barro rojo recosido o a los bloques de concreto convencionales, ya que su fabricación requiere de una menor cantidad de agua, puede fabricarse en cualquier lugar que disponga de abundante tierra y es un material más amigable con el medio ambiente, ya que la fabricación de un m<sup>3</sup> de este material sólo produce 0.114 t de CO<sub>2</sub>, así mismo su proceso de fabricación sólo requiere del 1% de energía, en comparación a sus equivalentes constructivos, ya mencionados. El BTC constituye una alternativa económica y segura para la construcción de viviendas, ya que, mejorando su proceso de fabricación, puede incrementar sus capacidades mecánicas, además de sumar confort térmico y acústico a las viviendas donde se implementen.

### **Problemática.**

Con la llegada de un nuevo siglo, también llegan nuevos retos y nuevas adversidades, y con el arribo del siglo XXI, llegó una nueva problemática, el cambio climático. Este es el problema ambiental de mayor trascendencia del nuevo siglo, uno de los mayores desafíos globales que enfrenta la humanidad. De los principales factores que contribuyen al cambio climático, uno de ellos es la contaminación. Esta última proviene de diferentes fuentes e industrias, pero de las más contaminantes, es el de la construcción.

La industria de la construcción es de las más contaminantes a nivel mundial, este sector es de los mayores explotadores de recursos y la mitad de ellos no son renovables. Tan solo esta industria contribuye al 23% de la contaminación atmosférica y el 40% de la contaminación de

agua potable. También es responsable de 39% de emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía y los procesos (Dobrowolska, 2021). En el proceso constructivo tradicional de las viviendas en México, un gran porcentaje estas, están construidas a base de muros elaborados ya sea con ladrillo de barro rojo recocido o bloques de concreto.

Los procesos de fabricación de estos dos últimos materiales muy utilizados en la construcción son altamente contaminantes. Por un lado, los bloques de concreto, en su elaboración utilizan el cemento como materia prima, un m<sup>3</sup> de bloques de concreto emite 2,9 t de CO<sub>2</sub>. Esto sin tomar en cuenta, según Rodgers, que tan solo la materia prima de estos, emite de aproximadamente el 8% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del mundo (2018).

Sumado a lo anterior, la elaboración de m<sup>3</sup> ladrillo de barro rojo recocido emite 2,5 t de CO<sub>2</sub>, estos se fabrican en hornos “tabiqueros o ladrilleros”; dichos hornos son principalmente de construcción artesanal, una práctica común a lo largo de toda la república mexicana, tan solo en el estado de México se tiene un registro de más de 1200 de estos hornos. La principal problemática de estos, es que para la cocción de los ladrillos se ocupa una mezcla de diferentes combustibles pesados. Esta industria emite gases contaminantes y partículas que permanecen en el aire causando serios daños a la salud pública, debido a que esta práctica carece de reglamentación estricta en materia ambiental, y sólo acatan lo contemplado en las disposiciones municipales, como por ejemplo la quema de llantas o material de desperdicio (Detalle Proyectos | Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, s. f.).

Por otra parte, México es uno de los países del mundo con mayor actividad sísmica, según estadísticas, se registran más de 90 sismos por año con magnitud superior a 4 grados en la escala de Richter, lo que equivale a un 60% de todos los movimientos sísmicos que se registran en el mundo. (Secretaría de Protección Civil del DF, s. f.) Chiapas se encuentra dentro de la región sísmica de México, junto con Oaxaca, Veracruz y otros estados. Por ende, Tuxtla Gtz., es una zona sísmica, esto repercute directamente en la vivienda y su estructura. Si a esto se le suma que la mayoría de la población no acostumbra contratar los servicios de profesionales para la construcción de sus viviendas, da como resultado una calidad constructiva deficiente, ya que la mayoría de estas no tienen una correcta supervisión al momento de su construcción. Todo esto influye en la estabilidad estructural de las viviendas y su resistencia ante eventos sísmicos.

Por lo que surge la pregunta general de esta investigación, la cual es determinar si: ¿los bloques de tierra compactada son una alternativa viable y funcional? Esto con la finalidad de que los BTC sirvan de sustituto constructivo, y a su vez, también sean una alternativa ecológica.

## **Hipótesis.**

Los bloques de tierra compactada (BTC) elaborados a base de tierra natural de Tuxtla Gutiérrez Chiapas., mejorados mecánicamente con cal hidratada, pueden alcanzar los estándares de las normas mexicanas, y ser utilizados para la construcción de viviendas.

## **Objetivos.**

### ***Objetivo general.***

Desarrollar bloques de tierra compactada, estabilizados con cal, para su implementación en procesos constructivos de la región de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

### ***Objetivos específicos.***

Determinar la resistencia media a la compresión del BTC estabilizados con cal, al 5%,10%, 15% y 20%

Determinar en qué porcentaje de estabilizante el BTC alcanza lo establecido por las normas mexicanas, para su uso como material constructivo.

Correlacionar la resistencia media a la compresión de los BTC con el porcentaje de estabilizante empleado.



En el capítulo uno de esta investigación se encuentra el marco teórico de esta investigación, se buscó referencias de diversos autores. Principalmente los encontrados son de origen Sudamericano, ya que, en países como Colombia, por ejemplo, tienen un desarrollo más avanzado sobre la investigación de los bloques de tierra comprimido.

Como lo demuestran Jaramillo y Charry (2017), que esta técnica se ha usado desde épocas remotas y vuelve a cobrar protagonismo en la arquitectura contemporánea, dada la tendencia a utilizar materiales no contaminantes. Pero también es importante señalar que los BTC son perfectibles, ya que hay que fortalecerlos contra las acciones negativas de la naturaleza, como la acción abrasiva del viento y la permeabilidad del agua, dada la naturaleza de la materia prima, como lo mencionan Neves y Borges (2011) en su investigación.

En el capítulo dos se abordó la metodología de esta investigación, para la cual se recurrió al método científico, ya que se realizaron probetas en diferentes porcentajes de estabilizante para la comprobación de la resistencia a la compresión de los BTC, así mismo se categorizó la tierra con la que fueron elaboradas. La categorización del material de muestra se hizo bajo el procedimiento “visual-manual” basado en la norma INVE-102-13.

Las probetas se hicieron con las siguientes dimensiones: 10cm x 10cm x 10cm. Durante el desarrollo de este trabajo, se realizaron 25 probetas de BTC, con diferentes porcentajes de estabilizante. Se elaboraron al 5%, 10%, 15% y 20% de estabilizante, 5 probetas de cada porcentaje, así mismo se hicieron 5 probetas más, sin ningún porcentaje de estabilizante como material de control.

En esta investigación se utilizó cal hidratada como estabilizante, a la mezcla base de los BTC, se le añadió arena de río al 30% como agrado adicional con el fin de mejorar su resistencia mecánica a la compresión. Posteriormente todas las probetas fueron ensayadas a compresión a los 35 días de edad, de acuerdo a lo establecido en la norma NMX-C-036-ONCCE-2013.

En el capítulo 3 se encuentran los resultados y la discusión de esta investigación; misma que arrojó resultados positivos; los cuales se cotejaron con la norma mexicana N.CMT.2.01.001/02 de la “Normativa para infraestructura del transporte”; que es la que establece los parámetros que deben cumplir los elementos utilizados en la construcción. Con los resultados obtenidos se estableció la resistencia media la compresión de las probetas ensayadas con diferentes porcentajes de estabilizante a base de cal hidratada. Así mismo se estableció en qué

porcentaje de este agregado, los BTC alcanzan lo establecido por la norma antes mencionada, así como su mayor resistencia a la compresión.

También, en este capítulo se discuten los resultados encontrados, en comparación con otras investigaciones sobre este mismo tema, encontrado una interesante disyuntiva sobre lo obtenido, ya que lo hallado en esta investigación contrasta con lo descubierto por otros autores en otras latitudes.

## Capítulo 1.

### Marco Teórico.

La tierra, fue de los primeros materiales disponibles desde épocas ancestrales en ser utilizada en la construcción, de los primeros recursos utilizables por el ser humano en la edificación de sus viviendas, su resguardo. Ha sido y sigue siendo el recurso más abundante y asequible.

En la actualidad se reconocen 12 técnicas de construcción [con] tierra [cruda] sin contar con todas sus [variantes]. Entre las más importantes que existen, se encuentran el bahareque, la tapia pisada o [muros tapiales], el adobe y el bloque de tierra comprimido. (Jaramillo y Charry, 2017, p. 33)

El bloque de tierra compactada o comprimida, o también conocido por sus siglas como “BTC”, “es un mampuesto fabricado mediante la compresión o el prensado de un mortero de suelo estabilizado”(S. Cabrera et al., 2020, p. 2). La compresión de los BTC, puede ser llevada a cabo por medios manuales o mecánicos.

El BTC es unas de las técnicas de construcción más representativas en tierra cruda, debido a su posibilidad de industrialización y producción a gran escala de manera rápida y económica, que lo hace una alternativa viable, durable y sostenible para todo tipo de obra ya que se comporta como un prefabricado tradicional con la diferencia de que no produce CO<sub>2</sub>. (Jaramillo y Charry, 2017, p. 30)

La edificación con BTC es una técnica constructiva con historia que ha experimentado un resurgimiento en la actualidad debido a su sustentabilidad, bajo costo y beneficios ambientales.

## Tierra Cruda. Historia y Tradición.

Existe una relación intrínseca entre la utilización de la tierra para la construcción y la humanidad. Según algunos autores ésta data de más de 5,000 años de antigüedad, otros indican que dicha relación tiene más de 10, 000 años. En la actualidad “más de la mitad de los habitantes de la tierra viven en construcciones hechas en tierra cruda, las cuales en su mayoría son construidas por ellos mismos”(Jaramillo y Charry, 2017, p. 32). Las técnicas de construcción con tierra cruda han sido utilizadas en todo el mundo, adaptándose a las condiciones climáticas y geográficas de cada región.

Sin embargo, debido a la industrialización y al avance de las tecnologías, las técnicas de construcción con tierra cruda fueron dejándose de lado. Ya que el paradigma del pensamiento moderno las hizo de lado en la historia actual, quitándoles prestigio. Estas técnicas ancestrales de construcción fueron paulatinamente sustituidas por métodos constructivos y materiales más “vanguardistas”, altamente contaminantes, y, por ende, menos amigables con el medio ambiente tales como, el acero y el concreto.

[Es así que la reutilización del BTC como técnica constructiva reapareció] en Colombia a comienzos de los años cincuenta [del siglo XX] gracias al ingeniero Raúl Ramírez (RAM) del Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento, CINVA, [...] como una alternativa económica de material de construcción, [...] [y su amplia aceptación lo han convertido en] una de las tecnologías latinoamericanas más difundidas en el mundo. (Jaramillo y Charry, 2017, p. 33).

Tiempo después, durante la cumbre ambiental de Río de Janeiro en 1992, aparece un nuevo movimiento de arquitectura sostenible cuyo objetivo fue retomar los aspectos importantes de la arquitectura vernácula, como por ejemplo: el perdurar en el tiempo (Jaramillo y Charry, 2017)., así mismo la utilización de recursos y técnicas de la región para su edificación, a la vez que se integra de manera armónica en el medio ambiente y al clima, para producir beneficios ambientales (Jaramillo y Charry, 2017).

Es por esto que hoy en día las técnicas y materiales usados desde épocas remotas como la construcción en tierra comienza a tener un gran protagonismo en la arquitectura contemporánea, dada a la tendencia de utilizar materiales no contaminantes en la construcción. (Jaramillo y Charry, 2017, p. 32)

## Composición y Forma Del Bloque De Tierra Compactada.

El BTC es un elemento prefabricado de construcción hecho de una mezcla de tierra arcillosa, arena, agregados y estabilizantes [como cal o cemento] compactados individualmente [en moldes] en forma de bloques (Jaramillo y Charry, 2017). Figura 1. La intención de utilizar agregados y estabilizantes en la elaboración de los BTC es:

Mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, [para esto] puede utilizarse la estabilización granulométrica, que consiste en la mezcla de proporciones de diferentes tierras y la estabilización química, en que se agrega un aditivo químico a la tierra, generalmente aglomerante tipo cemento o cal. Es posible fabricar BTC de diferentes formas y tamaños, siendo usual el BTC macizo y el BTC con huecos, ambos con y sin encajes. (Neves y Borges, 2011, p. 35)

**Figura 1**

*Bloque de tierra comprimido macizo sin encajes*



Nota. Fuente:

<https://www.tierratec.com/productos/btc-gran-formato>

## **Sostenibilidad Ambiental.**

La degradación del planeta ha llevado tanto a los organismos de investigación y experimentación, como a las empresas privadas y particulares a plantear nuevas y mejores alternativas de construcción que minimicen el impacto ambiental negativo para la fauna, la flora y recursos naturales en general. Muchas de estas alternativas retoman sistemas constructivos vernáculos y materiales amigables con la naturaleza, como por ejemplo la tierra cruda para la construcción. (Jaramillo y Charry, 2017, p. 31)

Los BTC son considerados sostenibles, ya que utilizan la tierra natural del sitio como materia prima y requieren menos energía en su fabricación en comparación con sus equivalentes constructivos, tales como el ladrillo de barro rojo recocido, y el bloque de concreto, ambos regularmente utilizados en las construcciones convencionales, entre ellas, la casa habitación.

La producción del BTC:

[Este material] posee características [...] ambientalmente amigables si se la compara con la fabricación de otros materiales semejantes. Para empezar, la energía utilizada en la producción de estos bloques es mucho menor que en cualquier otro mampuesto similar; además, si bien se le agregan algunos aditivos estabilizantes como la cal o el cemento, estos representan un porcentaje muy bajo. (Cabrera et al., 2020, p. 2).

Es importante mencionar que el BTC, es generalmente fabricado “in situ”, es decir, en el lugar de la construcción, por lo que no se invierte energía en su trasportación, además de que, por ser la tierra del sitio, la materia prima, es reciclable, y por su forma y dimensiones, es térmicamente muy adaptable a las condiciones climáticas.

El BTC es uno de los métodos de construcción [con] tierra [cruda] más aceptado por su parecido con los otros insumos conocidos [como el ladrillo o el bloque] de cemento y [por] ser un prefabricado, pero con un gran atributo más: no contamina ni en su proceso productivo, ni en el constructivo como sus similares. Es una industria pulcra, con un producto limpio para construir unas edificaciones más sanas y confortables. (Jaramillo y Charry, 2017, p. 36).

Por otra parte, la “huella de carbono” es la marca ambiental que deja la fabricación y consumo productos que liberan “gases de efecto invernadero” (GEI). De entre ellos el más importante es el CO<sub>2</sub>, el bióxido de carbono. Y el BTC, en comparación con sus similares constructivos resulta ser ecológicamente rentable.

En términos y números concretos, la fabricación, así como la utilización del BTC, en la construcción, es altamente viable.

[Dado que, desde el punto de vista ecológico] la producción de un m<sup>3</sup> de BTC sólo produce 0.114 t de CO<sub>2</sub> ya que se estabiliza con un mínimo porcentaje de cemento o cal, mientras que un m<sup>3</sup> de ladrillo cocido emite 2,5 t de CO<sub>2</sub> y un m<sup>3</sup> de bloque de concreto emite 2,9 t de CO<sub>2</sub>; además, solo se requiere un 1% de energía para producir un bloque [en comparación a la energía que se requiere para producir un ladrillo convencional] y no se producen desperdicios en su fabricación. (Jaramillo y Charry, 2017, p. 34)

### **Eficiencia Energética.**

El BTC, por su dimensión y masa en conjunto, adquiere propiedades termoaislantes, lo que ayuda a regular la temperatura al interior de las edificaciones. Esto favorece un menor uso de sistemas de calefacción o refrigeración, contribuyendo a la eficiencia energética de las construcciones. A esto se le conoce como “Inercia térmica, [que] sin duda es una de las mayores ventajas de este material pues la capacidad de almacenar energía dentro de su estructura para restituirla más tarde, lo hace adecuado para ser utilizado con éxito en diferentes condiciones climáticas”(Jaramillo y Charry, 2017, p. 34).

Así como lo demostró una investigación mexicana, comprobando mediante la experimentación que el BTC tiene la capacidad de regular la temperatura en el interior de la vivienda, ya que presenta ventajas en comparación con los materiales convencionales utilizados en la construcción; de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas de retardo térmico, dedujeron que los BTC mejoran la sensación de confort térmico en el interior de las viviendas, considerablemente mejor que los bloques de concreto y el ladrillo de barro rojo cocido, puesto que mostró un retraso térmico de hasta 5 horas contra media hora que éstos. Con lo que llegaron a la conclusión de que una vivienda con muros de BTC resultará más fresca en verano y más caliente en invierno, debido a la masa térmica de este material.(Roux-Gutiérrez y Lozano, 2016)

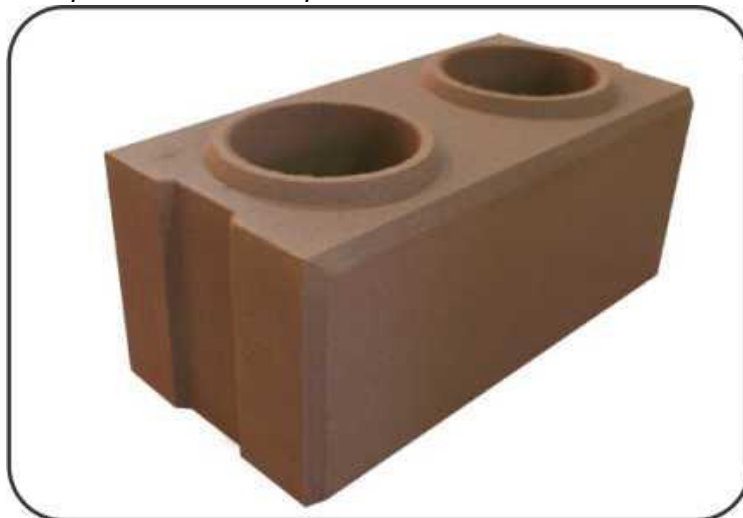
## Resistencia Estructural.

Aunque los BTC pueden no tener la misma resistencia inicial que algunos materiales modernos, ofrecen una resistencia suficiente para muchas aplicaciones de construcción. La técnica de construcción y el diseño adecuado pueden mejorar la resistencia y durabilidad de las estructuras. Las edificaciones con esta técnica constructiva proporcionan una durabilidad por siglos, antiguas estructuras alrededor del hechas con tierra aún continúan de pie, como en el caso de la gran muralla china y los antiguos templos egipcios (Gatti, 2012).

Una de las formas de construir muros sismo resistentes con BTC, es hacer que estos tengan huecos en su diseño, para que encajen unos con otros, a modo de cubos de *Legó*, a esto se le llama “machimbrado”. Figura 2.

**Figura 2**

*Bloques de tierra compactada con machimbrado.*



Nota. Fuente: Alternativas en la construcción de viviendas económicas.

<https://formublock.blogspot.com/2013/05/ecoladrillo-btc-bloque-de-tierra.html>



Estos muros pueden resistir los impactos sísmicos, si reciben suficiente carga de la cubierta, si están reforzados por elementos verticales [...] [como varillas de acero corrugado] en cada intersección y en los espacios intermedios y si estos elementos están arriostrados con el encadenado [ es decir que los elementos de refuerzo vertical estén amarrados o anclados a la cadena de cerramiento o dala de la construcción]. Así mismo, la estructura es flexible y pueden absorber energía cinética del sismo debido a que los perfiles machimbrados tienen una tolerancia mínima que permite a los bloques moverse levemente en dirección horizontal. (Minke, 2001, p. 26)

### **Uso Contemporáneo.**

En la actualidad, los bloques de tierra compactada se utilizan en una variedad de proyectos, desde viviendas rurales hasta edificaciones comerciales y comunitarias. Arquitectos y constructores están redescubriendo las posibilidades estéticas y prácticas de este material.

Un ejemplo en la actualidad del uso en casa habitación del BTC, es “La casa CEB” (*Compressed Earth Blocks*), construida por *Advanced Earthen Construction Technologies* (AECT) está ubicada en San Antonio, Texas. Se encuentra construida enteramente por bloques de tierra comprimida, cuenta con piso de tierra sellado con aceite de linaza, techos, molduras y armarios hechos con madera reciclada de antiguos graneros, y cerámicas reutilizadas en baños y cuartos de lavado, además de contar con paneles solares para la generación de energía eléctrica. Figura 3. (Advanced Earthen Construction Technologies, s. f.)

### **Figura 3**

*Casa CEB. Construida por AECT, San Antonio, Texas. E.U.A*



Fuente: Advanced Earthen Construction Technologies. <https://aectearthblock.com/>

Otro ejemplo contemporáneo de construcción con BTC, es el Centro quirúrgico y centro de salud, Léo. Figura 4. Ubicada en Burkina Faso, África. Diseñado por la firma Kéré Architecture. Es un hospital comunitario que presta servicio a más de 50,000 habitantes de la zona. Un muy buen ejemplo del uso de materiales, técnicas y estrategias ambientales de origen vernáculo. Los muros se construyeron con BTC cuyo tamaño permite regular la temperatura interior, las dobles cubiertas ventiladas protegen del sol y permiten disipar la radiación solar, y un sencillo sistema de cubiertas ligeras, con una cierta inclinación permite aprovechar el agua de lluvia para regar los árboles del entorno.(Arquitectura Viva, s. f.)

**Figura 4.**

*Centro quirúrgico y de Salud. Léo*



Nota: Fuente: <https://www.meta2020arquitectos.com/construccion-con-tierra/>

Alrededor del mundo la arquitectura elaborada con BTC está siendo aplicada con un enfoque comunitario. Dicha tendencia se debe, muy probablemente, a la accesibilidad de la materia prima, y a las bondades y prestaciones que ofrece este tipo de material.

## **Desarrollos Tecnológicos.**

La investigación continúa para mejorar las propiedades de los bloques de tierra compactada, incluyendo métodos de estabilización, impermeabilización y técnicas de producción más eficientes.

En [...] Francia, desde hace 37 años la escuela de arquitectura de Grenoble capacita a profesionales en el laboratorio CRAterre, único centro internacional de investigación especializado en construcción en tierra que ha estado trabajando por el reconocimiento de ésta como respuesta a los desafíos relacionados con el medio ambiente, la diversidad cultural y la lucha contra la pobreza. (Jaramillo y Charry, 2017, p. 2)

Este laboratorio reúne y capacita a profesionales, investigadores y profesores que en conjunto crean herramientas pedagógicas, para la enseñanza de la construcción con tierra. Un caso de éxito de la aplicación de estas herramientas es Colombia.

## **El BTC En México.**

De las técnicas de construcción con tierra, en México las más popularizadas y que continúan vigentes al día de hoy, sobre todo en comunidades rurales, es el adobe y el bahareque. En nuestro país la construcción con tierra es una técnica que se practica de manera artesanal, no se encuentran normas oficiales que regulen su uso, por lo que la difusión de ésta es mínima en el mercado de la construcción nacional. (Roux-Gutiérrez y Lozano, 2016)

La vivienda rural en comunidades, generalmente es a base de adobe y [bahareque] materiales elaborados en forma tradicional, lo cual lo hace vulnerable ante eventos naturales como son la lluvia y los sismos. Sin embargo, por las características culturales, sociales y económicas del medio rural [...] siguen constituyendo materiales de uso amplio en la construcción de viviendas. (Juárez et al., 2010, p. 26)

Por lo anterior descrito es de importancia ofrecer una alternativa constructiva en estas comunidades rurales, que se adapten a sus características socioeconómicas de este medio. Por lo tanto, los BTC constituyen una alternativa económica y segura para la construcción de viviendas, es un material de construcción que presenta ventajas sobre el adobe tradicional, conservando sus características de confort e incrementando su resistencia mecánica. (Juárez et al., 2010, p. 26)

## **El BTC. Ventajas y Desventajas.**

Como todo material constructivo, el BTC tiene pros y contras; por un lado, dentro de las ventajas de este material es la disponibilidad de la materia prima, ya que la tierra es un material abundante y de fácil disponibilidad. Sin embargo, la tierra utilizada para los BTC debe cumplir con ciertas características; ya que, si estas no son las adecuadas, su resistencia a la compresión no será la suficiente para cumplir con funciones estructurales (Cabrera et al., 2020, p. 72). Así mismo, el proceso de producción de los BTC es simple y puede ser llevada a cabo casi en cualquier sitio, siempre y cuando haya disponibilidad de tierra.

También como ya se mencionó anteriormente, otra de las ventajas de este material es la inercia térmica, que sin duda es una de sus mayores ventajas. Ya que tiene la capacidad de almacenar energía dentro de su estructura para redistribuirla más tarde. Es importante señalar que los BTC cuentan con propiedades acústicas ya que garantizan la reducción de sonido exterior. Por otro lado, este material alternativo es vulnerable al impacto del agua y el viento. Sin embargo con un buen diseño el mantenimiento no tiene que ser tan recurrente.(Jaramillo y Charry, 2017, p. 35)

## **Regulaciones y Normativas.**

A medida que crece la popularidad de los bloques de tierra compactada, se están desarrollando normativas y estándares para garantizar la seguridad estructural y la calidad de las construcciones.

Numerosos países cuentan con normas técnicas específicas para la construcción con tierra, no obstante, son pocos los que poseen normas de ensayos específicas para BTC publicadas por organismos oficiales de normalización. De éstos, los que destacan son Brasil, India, Kenia, Francia, Nueva Zelanda, España y México. (Cabrera et al., 2020, p. 3)

En México, para elaboración y uso del BTC, se utiliza la norma mexicana NMX-C-508-ONNCCE-2015, establece las características para BTC para su uso en muros de carga, divisorios y techos de bóvedas.

Sin embargo, los resultados se cotejaron con lo establecido con la norma mexicana N.CMT.2.01.001/02 de la “Normativa para infraestructura del transporte”, ya que esta es la que establece un parámetro más claro sobre los puntos a cumplir, en cuanto a la resistencia a la compresión de elementos constructivos.

En resumen, los bloques de tierra compactada representan una opción prometedora en la construcción contemporánea, destacando por su sustentabilidad, eficiencia energética y versatilidad en una variedad de aplicaciones constructivas. Su resurgimiento se alinea con el creciente interés global en prácticas constructivas más respetuosas con el medio ambiente y culturalmente arraigadas.

Es por ello que el interés de esta investigación es determinar que los BTC elaborados con tierra de la región y estabilizados con cal hidratada, alcanza lo establecido por la norma mexicana N.CMT.2.01.001/02 de la “Normativa para infraestructura del transporte”, para con ello establecer que pueden ser utilizados en la construcción de viviendas. Además, de que se busca ofrecer una técnica constructiva alterna, que vaya en pro de una construcción ambientalmente amigable, por esto, se optó por la utilización de cal hidratada como agente estabilizador, por su huella de carbono mucho menor, en comparación al del cemento portland. Incluso ofrecerlo como una alternativa más económica, por su fabricación y la obtención de la materia prima, en comparación a técnicas actuales de construcción.

## **Capítulo 2.**

### **Metodología.**

Esta investigación se basó en el método científico, ya que se siguió un sistema, con una serie de pasos determinados, con el fin de hacer una aportación al campo de la ingeniería civil. Este estudio propone la siguiente hipótesis: “Los bloques de tierra compactada (BTC) elaborados a base de tierra natural de Tuxtla Gutiérrez Chiapas., mejorados mecánicamente con cal hidratada, pueden alcanzar los estándares de las normas mexicanas, y ser utilizados para la construcción de viviendas”. Hipótesis que se intentó comprobar a través del desarrollo de esta investigación, y cuyos resultados fueron cotejados con lo establecido en la norma mexicana N.CMT.2.01.001/02 de la “Normativa para infraestructura del transporte”

La tierra (muestra) empleada para la fabricación de los bloques de tierra compactada (BTC) provino de un predio localizado en la colonia Terán del lado Poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez; Chiapas, la tierra utilizada, fue una arcilla, según su caracterización. La muestra de tierra natural fue la que se obtuvo una vez eliminada la capa de tierra vegetal superficial. Esto con el fin de ofrecer un BTC que pueda ser elaborado con una tierra de fácil obtención dentro de la ciudad, sin recurrir necesariamente a un “banco de materiales” a fin de evitar costos extras en la fabricación del BTC. Para la descripción e identificación de la muestra obtenida se aplicó el procedimiento “visual-manual” basado en la norma INV E-102-13.

Esta norma describe el procedimiento para identificar suelos con base en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). La identificación se hizo mediante un examen visual y ensayos manuales. Es importante aclarar que la caracterización de esta normativa es mediante un procedimiento de clasificación visual y manual. Mediante procedimientos sencillos, esta norma brindó los criterios necesarios para describir e identificar la muestra utilizada.

Se inició con el muestreo, la muestra se obtuvo mediante un procedimiento normalizado y aceptado, para que se considerara como representativa. La muestra se identificó cuidadosamente con respecto a su origen.

Para su descripción e identificación exactas, la cantidad mínima aceptada de la muestra que se examinó, estuvo de acuerdo con lo establecido en la tabla 1. Por el tamaño de las partículas de la muestra, que fue menor a 19 mm, se trabajó con 1kg., de esta.

**Tabla 1**

*Tamaño máximo de partículas y tamaño mínimo de la muestra.*

<i>Tamaño máximo de partículas y tamaño mínimo de la muestra.</i>		
<b>Tamaño máximo de las partículas.</b>		<b>Tamaño mínimo de la muestra peso.</b>
<b>(Apertura del tamiz)</b>		<b>Peso seco al aire.</b>
Normal	Alternó	
4.75 mm	(no. 4)	100 g
9.5 mm	(3/8")	200 g
19.0 mm	(3/4")	1.0kg
39.1 mm	(1 1/2")	8.0 kg
75.0 mm	(3")	60.0 kg

*Nota.* Fuente: Instituto Nacional de vías. Normas de ensayo de materiales para carreteras.

Se realizó una identificación preliminar de la muestra mediante el tamizado en el laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Esto indicó el porcentaje de gravas, arenas, arcillas y limos. Con esto se determinó el porcentaje de granos finos y gruesos en la muestra a empleada.

Una vez realizada la prueba del tamizado para determinar los porcentajes de la composición de la muestra. Se procedió a la información descriptiva de esta, se describió la geometría de las partículas, se pormenorizó su forma. También se detalló si las partículas eran planas, alargadas o planas/alargadas. Así como el color, olor y la presencia de humedad también son importantes, esto se asentó en una hoja de registro de la muestra.

Después de realizada la categorización física de la muestra se procedió con la descripción de la reacción de la muestra con ácido clorhídrico. La utilización de equipo de seguridad es de vital importancia al realizar esta acción, apoyándose de guantes y lentes de seguridad. Y se indicó si la reacción fue nula, débil o fuerte.

Se continuó con la preparación para la identificación. La porción de suelo empleada para la identificación que se hizo con esta norma, se basó en la fracción de la muestra que pasó por el tamiz de 75 mm o 3 pulgadas.

Una vez obtenida la fracción de la muestra se procedió a la “identificación preliminar”. Si el contenido es de un 50% o más de finos se le considera un suelo de grano fino. Sin embargo, si el contenido es menor al 50% de finos, se le considera un suelo de grano grueso. Dependiendo de la clasificación preliminar. En esta investigación, la muestra resultó ser de grano fino. Una vez establecido el tipo de grano de la muestra, se procedió con la identificación del suelo de grano fino. Para lo cual esta norma tiene criterios aplicables.

La norma INV E-102-13, indica que el procedimiento para la identificación de suelos de grano fino, se debe realizar con el material que pase por el tamiz #40, se tamizó el suficiente para las pruebas de resistencia seca, dilatancia, tenacidad, y plasticidad. Con la observación física y manual del resultado de estas pruebas y en base a las tablas que ofrece la norma, se estableció el tipo de suelo con el que se realizaron los BTC.

Cabe mencionar que la geometría típica de los BTC incluyen prismas rectangulares de diversas formas y tamaños, con y sin agujeros (Sitton et al., 2018). Para esta investigación se elaboraron BTC sólidos, figura 5, es decir sin agujeros, con las siguientes dimensiones: 10 cm x 10 cm x 10 cm. Estas dimensiones son del molde metálico, que se utiliza en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Campus I de la UNACH. Estos BTC fueron las probetas que se sometieron al ensayo de resistencia a la compresión, según lo establecido en la norma mexicana NMX-C-036-ONCCE-2013.

**Figura 5.**

*BTC sólidos, elaborados con material de la región.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 6.**

*Tierra cribada, para la elaboración de los BTC.*



Nota. Fuente: Elaboración propia



Con la intención de mejorar las características mecánicas a la compresión de los BTC, a la muestra de tierra obtenida, se le añadió arena como agregado adicional y cal hidratada como agente estabilizador, y a su vez sirvió para darle cohesión a la mezcla (Sitton et al., 2018). Todo esto con el fin de aumentar la resistencia a la compresión de los BTC producidos. Esta tierra se mezcló con arena de río, proveniente del río Santo Domingo, a unos 20 min de Tuxtla Gutiérrez. Se utilizó cal hidratada de la marca “Grijalva”, en su presentación de 22.5 kg. producida en Chiapas.

La tierra que se utilizó para las probetas fue secada al sol, por lapso de 5 días, esto con la finalidad de que perdiera la humedad natural con la que fue extraída. Completamente seca, la tierra fue cribada, como se aprecia en la figura 6, a través de una malla metálica con una apertura de red de 5 mm (Neves y Borges, 2011, p. 36). Se realizaron 5 series de 5 BTC cada una (en total 25 piezas). Considerando el % del agente estabilizador al 0%, 5%, 10%, 15% y 20%. La mezclas para las series se realizaron con un porcentaje de humedad del 12.5%, considerando el peso seco de los materiales, y se mantuvo fija la relación tierra-arena del 70%-30% (Cabrera et al., 2020). La dosificación de las series se estableció de acuerdo con la tabla 2.

**Tabla 2**

*Dosificación de las series para ensayo*

<i>Dosificación de las series para ensayo.</i>			
<b>Serie</b>	<b>Tierra %</b>	<b>Arena %</b>	<b>Cal hidratada %</b>
1	70%	30%	0%
2	70%	30%	5%
3	70%	30%	10%
4	70%	30%	15%
5	70%	30%	20%

Nota. Fuente. Elaboración propia.

Las 25 probetas se ensayaron para determinar su resistencia a la compresión, de acuerdo con el protocolo de la norma mexicana NMX-C-036-ONCCE-2013. Las referencias indican que todas las muestras deben ser ensayadas secas, con 28 días de edad, pero por cuestiones de logística, las probetas fueron ensayadas a los 35 días de edad. Después de 6 horas de edad, los BTC fueron sometidos a un proceso de curado de 7 días, durante los cuales se mantuvieron húmedos por medio de riegos sucesivos con agua, para continuar el proceso de hidratación de la cal, lo que incrementó resistencia del material (Neves y Borges, 2011, p. 38).

Las probetas con 0% de estabilizante, no fueron sometidas al proceso de curado, ya que no contenían estabilizante alguno. Después los BTC permanecieron 21 días en un ambiente controlado, para que continuara el proceso químico físico del estabilizante. Se tomó en cuenta la humedad relativa y la temperatura promedio de este espacio (Cabrera et al., 2020).

Para determinar la resistencia media a la compresión de cada probeta, se estudió la varianza de los resultados obtenidos en los ensayos y se determinó si estos son estadísticamente diferentes entre sí. Esto ayudó a determinar qué ensayo o probeta alcanzo lo establecido de acuerdo con la norma mexicana N.CMT.2.01.001/02 de la “Normativa para infraestructura del transporte”.

De esta manera, se buscó establecer si los BTC elaborados con tierra de la región pueden ser utilizados en la construcción tradicional de los hogares chiapanecos. También la intención de la investigación fue buscar que se le considere a este tipo de elementos como una alternativa económica en la construcción de muros, en comparación al costo promedio de edificación de muros de una casa habitación en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Por último, esta investigación tiene la intención de demostrar que los BTC son una alternativa de sistema constructivo de bajo impacto ambiental, en comparación a los métodos tradicionales de construcción en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

## **Capítulo 3.**

### **Resultados.**

En esta investigación se determinó cuantitativamente la resistencia a la compresión simple directa, a 5 series de BTC con diferente porcentaje de estabilizante a base de Cal hidratada. Empleando para esta investigación un total de 25 probetas. Divididas en 5 series cada una, comenzando con la serie “A” con 0% y finalizando con la serie “E” al 20% de estabilizante, respectivamente. Los resultados asentados en esta investigación se obtuvieron a través de la metodología del método científico, ya que se siguieron una serie de pasos determinados y establecidos. Comenzando por la caracterización de la muestra que se empleó para la elaboración de los BTC; continuando con el manejo de la tierra para su preparación, después de un proceso de cribado, para las diferentes mezclas que se elaboraron para las series, las cuales una vez elaboradas, siguieron un proceso de curado, durante un tiempo determinado, para su posterior ensayo en un laboratorio de materiales.

#### **Muestra Empleada.**

La tierra empleada para la fabricación de los BTC provino de un predio ubicado al poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas., dentro de las inmediaciones de la colonia Terán, figura 7. La muestra trabajada fue la extraída del predio, figura 8, obtenida aproximadamente a 70 centímetros de profundidad del terreno natural. Esta tierra se analizó bajo el sistema “visual-manual” basado en la norma INV E-102-13. Y los resultados de dichas pruebas indican que es un suelo de grano fino, se realizaron las pruebas que indica dicha norma en cuanto a la resistencia seca, dilatancia y tenacidad, así como la reacción del suelo a la prueba con ácido clorhídrico (HCl).

Con base en la norma mencionada, se determinó que es una arcilla magra arenosa, figura 9 y 10, CL, con plasticidad media, una resistencia mediana en seco, dilatancia nula, tenacidad mediana; reacción fuerte al HCl, figura 11, la muestra original del terreno contenía menos del 5% (en volumen) de gujarros sub-angulosos de dimensión máxima de 25 mm. Las condiciones del lugar de extracción fueron de consistencia firme, húmeda, homogénea, de un color gris oscuro.

**Figura 7.**

*Lugar de extracción de la muestra.*



**Figura 8.**

*Muestra de tierra con la que se elaboraron los BTC.*



**Figura 9.**

*Resultante de la muestra pasada por la malla N. 40 en laboratorio.*



Con la intención de mejorar la granulometría de la tierra empleada e incrementar así su resistencia a la compresión de los BTC producidos, la tierra natural fue mezclada al 30% con arena con la proveniente del río Santo Domingo, a unos 20 km de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Así mismo se realizaron 25 probetas con diferente porcentaje de estabilizante. De estas se realizaron 5 de ellas con 0% como material de control de las muestras, que se nombró "Serie A", y consecutivamente al 5% como la serie "B", 10% serie "C", 15% Serie "D" y la serie "E" al 20%,

**Figura 10.**

*Bolas de arcilla elaboradas con la muestra, para la prueba de resistencia seca. Antes y después.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 11.**

*Reacción de la muestra ante el ácido clorhídrico. Reacción fuerte*



Nota. Fuente: Elaboración propia

5 BTC de cada una. Todas las cantidades de las mezclas fueron medidas y pesadas en una báscula manual con capacidad de 2kg.

Es importante mencionar que la metodología expuesta en esta investigación indica que el porcentaje de agua con las que debieron ser trabajadas las mezclas para cada serie de probetas debió ser del 12.5 %, sin embargo, al realizarse las mezclas, la manejabilidad de estas fue bastante complicada. Por lo que se realizó un ajuste al procedimiento, aumentando al 18% la cantidad de agua agregada a la mezcla de cada serie de probetas realizada. Con la finalidad de que éstas pudieran ser compactadas de una forma más eficiente.

### **Unidad de Análisis.**

Para esta investigación se utilizaron los BTC resultantes de un molde metálico con las medidas de 10 cm x 10 cm x 10 cm, figura 12. La compactación de estas probetas se hizo manualmente, con la intención de que, si los resultados fuesen positivos, estos fueran fácilmente replicables en cualquier sitio, sin la necesidad de una compresión mecánica y/o hidráulica o por algún otro medio de compactación y el resultado es el observado en la figura 13.

**Figura 12.**

*Tierra lista para compactación dentro del molde metálico.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 13.**

*Bloque de BTC con 0% de estabilizante.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 14.**

*BTC elaborados con diferentes % de estabilizante.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que después de la compactación manual, y debido a no tener un control preciso sobre la cantidad de presión ejercida al momento de la fabricación de las probetas, se obtuvieron espesores diversos, pero similares, como se observa en la figura 14. Una vez pasando los 28 días de edad de las muestras, estas presentaron un espesor promedio de 6 cm y 9.5 cm por lado, esto debido probablemente a la pérdida de humedad y la contracción de la tierra, con un peso en seco promedio de 0.900 kg, por unidad, el peso fue tomado con una báscula digital con capacidad para 5 kg.

Todos los datos se asentaron en la siguiente tabla, de elaboración propia para un mejor control y consulta de los resultados obtenidos, se agrega en anexos una copia de esta misma para su mejor observación.

**Tabla 3.**

*Tabla de datos y resultados de los BTC con diferentes porcentajes de estabilizante.*

DATOS Y RESULTADOS DE LOS BTC CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ESTABILIZANTE													
SERIE	% DE ESTABILIZANTE	# DE MUESTRA	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTO (CM)	ÁREA CM2	VOLUMEN (CM3)	PESO (KG)	EDAD (EN DIAS)	CAPACIDAD DE CARGA (KG)	RESISTENCIA "Fc" (KG/CM2)	RESISTENCIA MEDIA A LA COMPRESIÓN DE LOS BTC (KG/CM2)	RESISTENCIA MEDIA A LA COMPRESIÓN (MPa)
A	0%	1	9.5	9.5	5.5	90.25	496.38	0.824	35	2460	27.26	27.43	2.69
		2	9.5	9.6	6	91.2	547.20	0.848	35	2526	27.70		
		3	9.8	9.5	6	93.1	558.60	0.947	35	2637	27.25		
		4	9.5	9.5	6	90.25	541.50	0.812	35	2485	27.53		
B	5%	1	9.8	9.6	5.7	94.08	536.26	0.888	35	2460	26.15	34.68	3.40
		2	9.8	9.5	5.4	93.1	502.74	0.796	35	4053	43.53		
		3	9.7	9.6	5.5	93.12	512.16	0.828	35	3617	38.84		
		4	9.6	9.5	5.9	91.2	538.08	0.833	35	2511	27.53		
		5	9.5	9.8	5.7	93.1	530.67	0.846	35	3475	37.33		
C	10%	1	9.5	9.8	5.2	93.1	484.12	0.778	35	5371	57.69	31.74	3.11
		2	9.8	9.7	5.4	95.06	513.324	0.79	35	2785	29.30		
		3	9.5	9.8	5.6	93.1	521.36	0.846	35	2529	27.16		
		4	9.6	9.6	7	92.16	645.12	1.003	35	2762	29.97		
		5	9.8	9.5	6.2	93.1	572.22	0.934	35	1910	20.52		
		6	9.6	9.9	6	95.04	570.24	0.985	35	2450	25.78		
D	15%	1	9.5	9.5	6.5	90.25	586.625	1.012	35	2121	23.50	25.94	2.54
		2	9.8	9.5	6.5	93.1	605.15	0.994	35	2314	24.85		
		3	9.9	9.6	6.8	95.04	646.272	1.037	35	2579	27.14		
		4	9.8	9.7	6.8	95.06	646.408	1.019	35	2426	25.52		
		5	9.5	9.7	6.2	92.15	571.33	0.977	35	2525	27.40		
		6	9.6	9.7	6.4	93.12	595.968	0.969	35	2533	27.20		
E	20%	1	9.7	9.6	6.4	93.12	595.968	0.979	35	2009	21.57	29.13	2.86
		2	9.8	9.6	5.7	94.08	536.256	0.855	35	2585	27.48		
		3	9.9	9.7	6.4	96.03	614.592	1.001	35	3181	33.13		
		4	9.5	9.7	7.3	92.15	672.695	1.06	35	2508	27.22		
		5	9.8	9.8	6.6	94.08	620.928	0.979	35	2529	26.88		
		6	9.5	9.8	6.1	93.1	567.91	0.846	35	3583	38.49		

Las probetas se mantuvieron a una temperatura ambiente promedio de 25 grados centígrados, y con una humedad relativa de entre 40% y 65%. Estas medidas se realizaron y registraron con un higrómetro-termómetro digital de la marca “YIERYI” modelo HTC-2, figura 15, para interiores y exteriores con sonda, las medidas fueron tomadas durante todo el tiempo de vida de las probetas, las muestras estuvieron a la sombra durante todo su tiempo de vida como se observa en la figura 16. Las probetas con estabilizante del 5% al 20%, se “curaron” durante los primeros 7 días de edad, cabe mencionar que la metodología dicta que las probetas deben ser ensayadas a los 28 días de edad, pero tiempos y horarios del laboratorio de materiales de la Universidad Autónoma de Chiapas estas se ensayaron a los 35 días de edad.

**Figura 15.**

*Se realizó la toma de temperatura ambiente, así como la humedad relativa del espacio donde se mantuvieron los BTC durante los primeros 28 días.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 16.**

*BTC, durante su tiempo de curado en un ambiente a la sombra.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

## Ensayo de las Probetas.

En esta investigación, se determinaron las características principales de cada probeta como lo son: dimensiones, peso volumétrico y resistencia a la compresión, de acuerdo con los ensayos especificados en las normas NMX-C-036-ONNCCE-2004, todos estos datos quedaron asentados en la tabla 3, ya antes mencionada. La compresión de las probetas se realizó dentro de las instalaciones de laboratorio de materiales de la Universidad autónoma de Chiapas, a los 35 días de vida de las probetas. Esta prueba se realizó con la asistencia de la “Máquina Universal para Compresión y Tensión”, figura 17, marca FORNEY, modelo LT-1150 con una capacidad de carga Máxima, kN 1471 (150 000 kgf), propiedad de la UNACH.

**Figura 17.**

*Maquina universal para compresión y tensión.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

**Figura 18.**

*Ensayo de compresión del BTC estabilizado con cal.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

La compresión se realizó una probeta a la vez, como se observa en la figura 18, hasta ser ensayadas las 25 probetas en total. Es importante señalar que el uno de los objetivos de esta investigación es determinar si los BTC, estabilizados con cal hidratada, llegan y/o superan la resistencia a la compresión de los bloques de concreto y de los ladrillos de barro rojo recogido comunes, esto con la finalidad de ser un sustituto de ellos. Por lo que el objetivo de esta investigación se basó y se centralizó en este dato, el de la resistencia a la compresión. Por lo que las probetas fueron ensayadas a compresión simple, con la asistencia de la máquina ya mencionada.

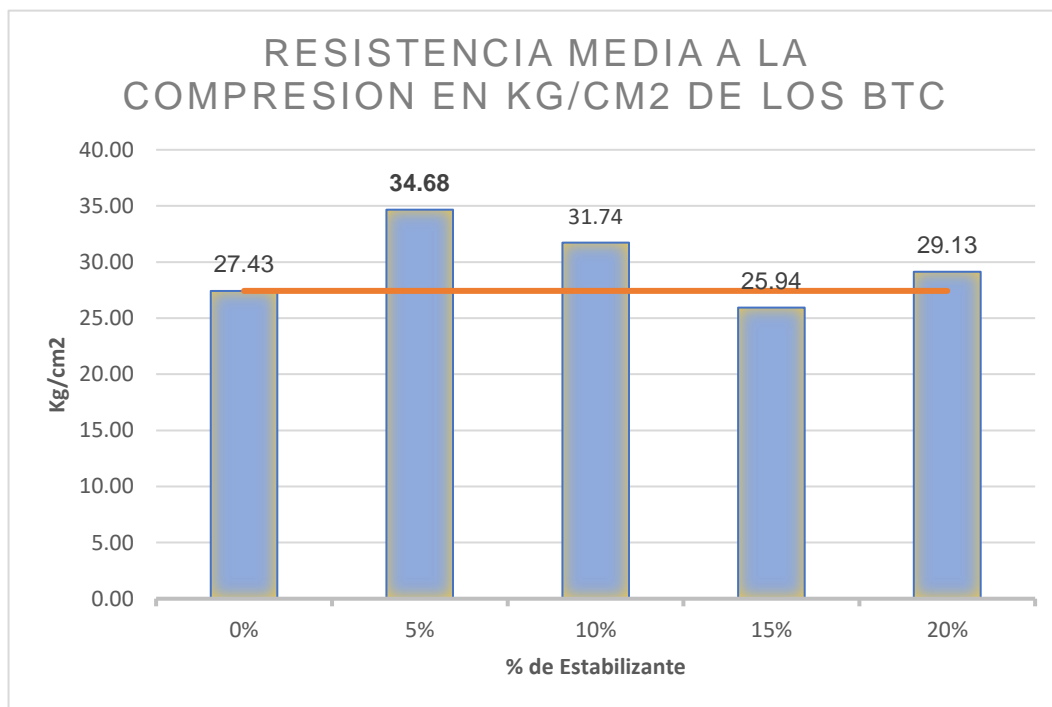


## Resultados de las Probetas.

Como ya se mencionó, como material de control se utilizaron 5 probetas con 0% de estabilizante, la serie "A", con la finalidad de establecer la resistencia a la compresión, en promedio, de los BTC elaborados con la tierra en su estado natural y solo mezclada el 30% con arena. Estas probetas alcanzaron una resistencia media a la compresión de 27.4 kg por centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), o lo que es igual a 2.6 mega pascales (MPa). Las probetas realizadas con el 5% de estabilizante, alcanzaron una resistencia a la compresión promedio de 34.6  $\text{kg}/\text{cm}^2$  o lo que es equivalente a 3.4 MPa. Las probetas al 10% de estabilizante alcanzaron en promedio 31.7  $\text{kg}/\text{cm}^2$  que es igual a 3.11 MPa. Las probetas realizadas al 15% de estabilizante alcanzaron una resistencia a la compresión promedio de 25.9  $\text{kg}/\text{cm}^2$  equivalente a 2.5 MPa. Y por último las probetas realizadas al 20% de estabilizante alcanzaron en promedio 29.1  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , igual a 2.8 MPa de resistencia. Lo que se puede visualizar de la siguiente manera. Toda la información está contenida y resumida en la figura 19.

**Figura 19.**

*Gráfica de la resistencia media a la compresión de las diferentes series ensayadas.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

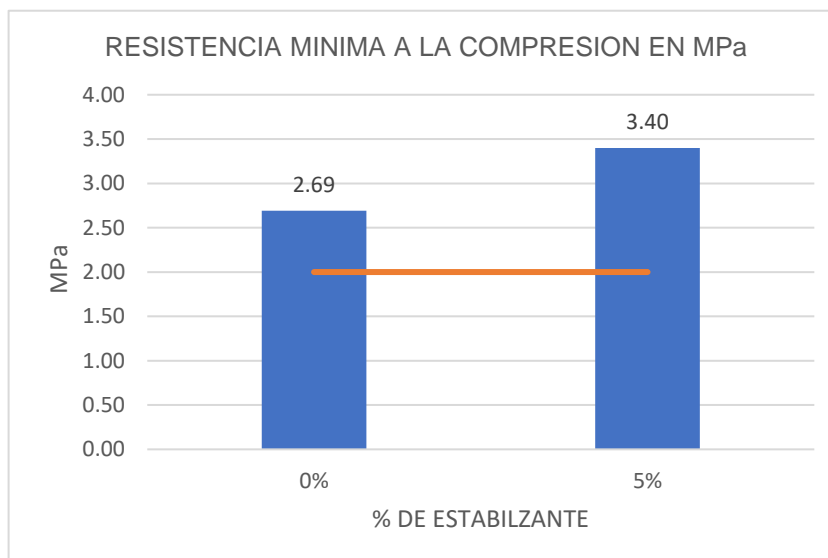
La serie “B” de BTC elaborados con el 5% de estabilizante, es la que alcanzan una resistencia media a la compresión mayor, con respecto resto de las muestras, con un incremento del 26% con base a las probetas con 0% de estabilizante, por lo que si hubo un mejoramiento mecánico en la resistencia a la compresión. El incremento en el porcentaje de estabilizante más allá del 5% no mejora la carga mecánica de los BTC, sino por el contrario, más allá del 10% de este agregado, disminuye la resistencia a la compresión.

Los resultados de esta investigación se ponderan con respecto a lo que establece la norma N.CMT.2.01.001/02. de la “Normativa para infraestructura del transporte”, que establece los requisitos de los bloques de concreto, tabiques y tabicones que se utilizan en elementos estructurales de mampostería.

Por la forma de elaboración de los BTC, que fue de manera manual, y dado a que se realizaron sólidos, es decir, sin huecos, se les clasifica con base en esta norma, con grado de calidad “E” que es la clasificación para ladrillos y bloques cerámicos fabricados a mano. Dicha norma establece que la resistencia a la compresión simple mínima de estos elementos será de 2 MPa. Por lo que los BTC con 0% de estabilizante la alcanzan sin mayor problema, y los BTC con 5% de estabilizante, superan lo estipulado por un 70%, se puede observar gráficamente en la figura 20. Sin embargo, cabe mencionar, que, en comparación a la resistencia a la compresión de los ladrillos y bloques cerámicos elaborados con máquina, donde la mínima establecida es de 4 MPa, los BTC quedan por debajo de este requisito.

**Figura 20.**

*Resistencia mínima a la compresión permisible de la norma N.CMT.2.01.001/02.*



Nota. Fuente: Elaboración propia

Siguiendo lo que dicta esta norma el uso recomendado para los BTC elaborados al 5% de estabilizante, que son los que alcanzaron una mayor resistencia a la compresión, son aptos para albañilería simple o reforzada en elementos no soportantes y con cargas bajas de compresión axial, y estos podrían ser aptos solamente para climas benignos y de escasa precipitación pluvial, y no se pueden colocar en muros aparentes sin algún tipo de revestimiento.

### **Consideraciones de Importancia.**

Algo que es importante señalar y que es de suma importancia; y que en un principio de la investigación no se tomó en cuenta, es que para los elementos que son sometidos a pruebas de compresión, se debe considerar un paso importante; que en términos de ingeniería se le llama “cabeceo”, esto es en otras palabras, conseguir que las caras que tienen contacto con la máquina de compresión, cuenten con una superficie completamente horizontal y sean perpendiculares entre sí.

Al momento de elaboración, algunas probetas quedan con las superficies irregulares; es por esto la importancia del cabeceo; ya que se debe de disponer de la mayor superficie de contacto posible entre la máquina de compresión y las muestras, para que los resultados sean lo más veraces y fiables para la investigación.

Para los bloques de tierra compactada se utilizó un cabeceo a base de yeso en ambas superficies, tanto superior como la inferior, las cuales que tuvieron contacto con la prensa. Sin embargo, este procedimiento, no se había tomado en cuenta en un principio de la investigación; y consumió el recurso “tiempo”, pero este proceso es de suma importancia para que los resultados expuestos fueran confiables.

Debe considerarse hacer el “cabeceo” de las muestras dentro del mismo molde en las que fueron elaboradas, y sobre una superficie completamente horizontal y nivelada. La consistencia de la mezcla de yeso y agua, debe ser más líquida que plástica, para que, al momento del vaciado sobre el molde, esta se nivele por gravedad y con un tiempo de espera de por lo menos 15 minutos antes del desmolde.

## Discusión.

El efecto del porcentaje de estabilizante, influyó positivamente en la resistencia a la compresión en la serie de BTC con el 5%. Los bloques a base de tierra de arcilla magra arenosa de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas tienen un significativo aumento de resistencia a la compresión con este porcentaje. Por otro lado, el incremento de estabilizante más allá del 10%, no impacta de manera significativa en la resistencia media a la compresión, si no por el contrario parece disminuir esta misma.

Los datos de resistencia a la compresión que arrojaron los BTC con el 0% y el 5% de estabilizante, son muy positivos, Por el contrario de lo descubierto por Santiago (et al) en el 2020 en su investigación de “Resistencia a compresión en Bloques de Tierra Comprimida. Comparación entre diferentes métodos de ensayo”, donde los bloques ensayados no superaron los 15 kg/cm<sup>2</sup>.

Algo semejante fue descubierto en la investigación de “Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión”, de los mismos investigadores, también en el 2020, en donde los BTC estabilizados con cal presentaron una resistencia medida a la compresión similar con y sin estabilizante.

Lo anterior, posiblemente se deba al origen de la tierra utilizada, por lo que habría que analizar el origen edafológico de estos suelos utilizados para esas investigaciones. Es importante señalar que lo que se buscó en esta investigación fue el mejoramiento mecánico de la resistencia a la compresión de los BTC, objetivo que, si se logró. Debido al tiempo establecido por el programa PIGA, que fue relativamente corto, no se pudo hacer una investigación más exhaustiva para analizar más datos sobre los BTC estabilizados con cal hidratada.

Es importante señalar que también la norma N.CMT.2.01.001/02, marca que para que los BTC puedan ser utilizados como elementos estructurales, de igual forma habría que analizarse la “Adherencia mínima” y el “porcentaje de absorción de agua”, que son características físicas importantes que se deben de tomar en cuenta. Pero los valores descubiertos en esta investigación son positivos, que pueden servir como base para la continuación de una investigación futura de estos elementos.

## Conclusiones.

Se puede concluir mencionando, que, respecto a la fabricación de los BTC, se aumentó el porcentaje de agua establecido en un inicio, esto con el fin de tener una mejor maniobrabilidad de las mezclas y mejorar la compresión de los bloques al momento de su elaboración. El proceso de curado de los BTC es una parte importante, para que estos alcancen una óptima resistencia mecánica a la compresión, así mismo, es importante tomar en cuenta el lugar de almacenaje de estos, durante esta etapa, para que la pérdida de humedad no sea tan rápida, y el proceso físico-químico de la cal hidratada en conjunto con la tierra y el agua, se desarrolle lo mejor posible, ya que de ello dependerá que los BTC alcancen o no, una óptima resistencia a la compresión.

Dentro del marco de los objetivos específicos de esta investigación, se determinó la resistencia media la compresión de los bloques estabilizados con cal hidratada en sus diversos porcentajes de este agregado en cada serie, obteniendo como resultado que la serie "B" con el 5% de estabilizante presentó una mayor resistencia mecánica a la compresión con respecto a las demás series con estabilizante.

De los resultados obtenidos se concluyó que con el 5% de estabilizante a base de cal hidratada los bloques de tierra compactada alcanzan una mayor resistencia mecánica a la compresión, y que el incremento de este porcentaje más allá del 10% no aumenta la resistencia mecánica; por el contrario, parece afectarla negativamente. Con base en la norma N.CMT.2.01.001/02. de la "Normativa para infraestructura del transporte" los BTC desarrollados en esta investigación, entran dentro de la categoría E, la cual corresponde a tabiques sólidos y de elaboración manual. En esta categoría los ladrillos y bloque cerámicos, tienen que alcanzar como mínimo 2 MPa de resistencia a la compresión, para su aceptación. Los BTC al 0% de estabilizante superan este número por un 48%, mientras que los BTC con el 5% de estabilizante los por un 70%. Por lo que se considera que la investigación cumple con la primicia de la hipótesis.

Sin embargo, para que el objetivo principal de esta investigación se formalice en su totalidad, los BTC deben de cumplir con dos características físicas más, que son: Adherencia del 0.15 MPa, y el porcentaje máximo de absorción de agua del 24%; pero dado el tiempo con el que se contaba para esta investigación, se consideró a la resistencia mecánica a la compresión, el punto primordial que debieron superar los bloques de tierra compactada, por lo que, con lo realizado en el desarrollo de esta misma, se tiene un buen inicio para la elaboración de BTC con tierra natural de la región.

## Referencias.

*Advanced Earthen Construction Technologies*. (s. f.). <https://aectearthblock.com/>

*Centro quirúrgico y centro de salud, Léo—Kéré Architecture Diébédo Francis Kéré* (s. f.)  
Arquitectura Viva. <https://arquitecturaviva.com/obras/centro-quirurgico-en-leo>

Cabrera, S. P., González, A., y Rotondaro, R. (2020). Resistencia a compresión en bloques de tierra comprimida. Comparación entre diferentes métodos de ensayo. *Informes de la Construcción*, 72(560), 360. <https://doi.org/10.3989/ic.70462>

Cabrera, S. P., Rotondaro, R., Suárez Domínguez, E. J., y Aranda Jiménez, Y. G. (2020). 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.  
<https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05>

*Contabilizan en Chiapas más de 80 mil 500 viviendas afectadas por el sismo del 7 de septiembre*. (s. f.). <https://www.proceso.com.mx/nacional/estados/2017/9/20/contabilizan-en-chiapas-mas-de-80-mil-500-viviendas-afectadas-por-el-sismo-del-de-septiembre-191734.html>

[Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)]. (s. f.).

*Detalle Proyectos | Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*. (s. f.)  
[https://www.inin.gob.mx/invydes/detalle\\_proyectos.cfm?campo=AM108&id=322&year=2012](https://www.inin.gob.mx/invydes/detalle_proyectos.cfm?campo=AM108&id=322&year=2012)

Dobrowolska, K. (2021, marzo 4). ¿Cómo afecta la construcción al medio ambiente?. Archdesk.  
<https://archdesk.com/es/blog/como-afecta-la-construccion-al-medio-ambiente/>

Gatti, F. (2012). *Arquitectura y construcción en tierra. Estudio comparativo de las técnicas contemporáneas en tierra*. [Tesis de maestría no publicada] Universidad Politécnica de Catalunya.

Jaramillo, D. E. A., y Charry, A. C. (2017). El bloque de tierra comprimido o BTC. Una alternativa de construcción para la arquitectura contemporánea. *Revista Nodo*, 12(23), 31-37  
<https://doi.org/10.54104/nodo.v12n23.140>

Juárez, L. A., Caballero, T., y Morales, V. (2010). Ventajas del reforzamiento de muros de bloques de tierra compactados (BTC), como opción para el rescate de viviendas rurales. *Informes de la Construcción*, 62(518), 25-32. <https://doi.org/10.3989/ic.08.000>

Minke, G. (2001, septiembre). *Manual de construcción para viviendas antisísmicas de tierra*. Reconstruir MX. <https://reconstruir.org.mx/manual-de-construccion-para-viviendas-antisismicas-de-tierra/>

Neves, C., y Borges Faria, O. (2011). *Técnicas de construcción con tierra*. Feb-Unesp.

Roux-Gutiérrez, R. S., y Lozano, J. V. (2016). Bloques de tierra comprimida, su retardo térmico e impacto ambiental. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 19.

<https://www.redalyc.org/journal/4779/477951060009/html/>

*Secretaría de Protección Civil del DF*. (s. f.).

<http://data.proteccioncivil.cdmx.gob.mx/simulacros/CDMX/Situacion-sismica.html>

Sitton, J. D., Zeinali, Y., Heidarian, W. H., y Story, B. A. (2018). Effect of mix design on compressed earth block strength. *Construction and Building Materials*, 158, 124-131.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.005>

## Anexos.

**Tabla de datos y resultados de los BTC con diferentes porcentajes de estabilizante.**

DATOS Y RESULTADOS DE LOS BTC CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ESTABILIZANTE													
SERIE	% DE ESTABILIZANTE	# DE MUESTRA	LARGO (CM)	ANCHO (CM)	ALTO (CM)	AREA CM2	VOLUMEN (CM3)	PESO (KG)	EDAD (EN DIAS)	CAPACIDAD DE CARGA (KG)	RESISTENCIA "Fc" (KG/CM2)	RESISTENCIA MEDIA A LA COMPRESION DE LOS BTC (KG/CM2)	RESISTENCIA MEDIA A LA COMPRESION DE COMPRESION (MPa)
<b>A</b>	<b>0%</b>	1	9.5	9.5	5.5	90.25	496.38	0.824	35	2460	27.26	27.43	2.69
		2	9.5	9.6	6	91.2	547.20	0.848	35	2526	27.70		
		3	9.8	9.5	6	93.1	558.60	0.947	35	2537	27.25		
		4	9.5	9.5	6	90.25	541.50	0.812	35	2485	27.53		
<b>B</b>	<b>5%</b>	1	9.8	9.6	5.7	94.08	536.26	0.888	35	2460	26.15	34.68	3.40
		2	9.8	9.5	5.4	93.1	502.74	0.796	35	4053	43.53		
		3	9.7	9.6	5.5	93.12	512.16	0.828	35	3617	38.84		
		4	9.6	9.5	5.9	91.2	558.08	0.853	35	2511	27.53		
		5	9.5	9.8	5.7	93.1	530.67	0.846	35	3475	37.33		
<b>C</b>	<b>10%</b>	1	9.5	9.8	5.2	93.1	484.12	0.778	35	3371	57.69	31.74	3.11
		2	9.8	9.7	5.4	95.06	513.24	0.79	35	2785	29.30		
		3	9.5	9.8	5.6	93.1	521.36	0.846	35	2529	27.16		
		4	9.6	9.6	7	92.16	645.12	1.003	35	2762	29.97		
		5	9.8	9.5	6.2	93.1	577.22	0.924	35	1910	20.52		
		6	9.6	9.9	6	95.04	570.24	0.985	35	2460	25.76		
<b>D</b>	<b>15%</b>	1	9.5	9.5	6.5	90.25	586.625	1.012	35	2121	23.50	25.94	2.54
		2	9.8	9.5	6.5	93.1	605.15	0.994	35	2314	24.85		
		3	9.9	9.6	6.8	95.04	646.272	1.037	35	2579	27.14		
		4	9.8	9.7	6.8	95.06	646.408	1.019	35	2426	25.52		
		5	9.5	9.7	6.2	92.15	571.33	0.977	35	2525	27.40		
		6	9.6	9.7	6.4	93.12	595.968	0.969	35	2533	27.20		
<b>E</b>	<b>20%</b>	1	9.7	9.6	6.4	93.12	595.968	0.979	35	2009	21.57	29.13	2.86
		2	9.8	9.6	5.7	94.08	536.266	0.855	35	2585	27.48		
		3	9.9	9.7	6.4	96.03	614.592	1.001	35	3181	33.13		
		4	9.5	9.7	7.3	92.15	672.695	1.06	35	2508	27.22		
		5	9.6	9.8	6.6	94.08	620.928	0.979	35	2529	26.88		
		6	9.5	9.8	6.1	93.1	567.91	0.845	35	3583	38.49		



Fotografía del Equipo / Instrumento



Especificaciones técnicas

<b>Nombre del Equipo</b>	Máquina Universal para Compresión y Tensión
<b>Marca</b>	FORNEY
<b>Modelo</b>	LT-1150
<b>Capacidad de Carga Máxima, kN</b>	1471 (150 000 kgf)
<b>Escala, kN</b>	29,42
<b>Exactitud</b>	± 1% de la carga indicada empezando del primer 10% del rango de carga (en compresión)
<b>Distancia máxima entre sujetadores, mm</b>	255
<b>Distancia entre columnas, mm</b>	305
<b>Máximo viaje ram</b>	10
<b>Dimensiones totales, mm</b>	1820 x 740 x 420 (alto x ancho x fondo)

### Breve Descripción Funcional

- Conectar el equipo a la corriente.
- Con el motor apagado, centrar cuidadosamente la muestra en la máquina de prueba.
- Gire la Perilla de control No. 2 en sentido horario a una posición ajustada.

- Coloque la manija de control de la válvula No. 1 en la posición "Avance medido".
- Encender la bomba eléctrica.
- Encender el equipo.
- Si se desea una precarga rápida, coloque la manija de control de la válvula No. 1 en "Avance completo".
- Observe atentamente el monitor de carga y cuando se haya alcanzado la precarga deseada, mueva la manija de control de la válvula No. 1 a la posición "medida".
- Para aumentar la velocidad de carga, gire la Perilla de control No 2 en sentido antihorario.
- Para disminuir la velocidad de carga, gire la Perilla de control No. 2 en sentido horario.
- Para mantener la presión en cualquier punto deseado, coloque la manija de control de la válvula No. 1 en la posición "Hold".
- Para liberar la presión de modo que la platina regrese después de que se haya completado una prueba, coloque la manija de control de la válvula No. 1 en la posición "Retraer".
- Finalizados todos los ensayos se procede a apagar el equipo y la bomba eléctrica.
- Desconectar el equipo.

### Condiciones de Operación Recomendadas

El equipo debe estar debidamente nivelado y ubicado sobre una superficie horizontal estable. En el caso de los especímenes a ensayar, estos deberán acoplarse a las dimensiones permisibles por el equipo y en ningún caso se buscará alcanzar presiones superiores a la capacidad máxima.

La máquina universal solo puede utilizarse para realizar pruebas de materiales de construcción de acuerdo con las normas internacionales pertinentes.

La unidad está diseñada para ser operada por un operador que tiene que instalar las piezas de distancia necesarias, cargar y descargar la muestra desde el marco y comenzar la prueba.

Durante el funcionamiento normal, el área de trabajo del equipo es la parte frontal donde se encuentran las manijas de las válvulas y el indicador digital

La máquina debe usarse siguiendo los procedimientos descritos en este manual.

### Información sobre Normas de Seguridad y Uso

De acuerdo al reglamento interno del laboratorio es imprescindible cumplir con los requerimientos de seguridad establecidos en el área de concreto. Además, tanto el equipo como el espacio de trabajo deberá entregarse limpio, así como también se debe evitar el uso de cualquier dispositivo electrónico y la introducción de alimentos. Deberá verificarse el funcionamiento del equipo por conexión eléctrica a 220 V.

Se deberá tener precaución con cables para evitar tropiezos o cualquier tipo de accidentes.

El operador es responsable de poner en marcha el equipo, realizar la secuencia de prueba, apagar el equipo y finalmente detenerlo en caso de que se cumplan las condiciones de emergencia.

El operador debe estar capacitado en el uso correcto de la máquina y los aspectos relativos de seguridad de su uso.

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES**

**PARTE: 2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS**

**TÍTULO: 01. Materiales para Mamposterías**

**CAPÍTULO: 001. Ladrillos y Bloques Cerámicos**

**A. CONTENIDO**

Esta Norma contiene los requisitos de calidad de los ladrillos y bloques cerámicos que se utilizan en elementos estructurales de mampostería.

**B. DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y USOS**

Los ladrillos y bloques cerámicos son elementos de forma paralelepípeda ortogonal, sólidos o huecos, fabricados mediante el moldeo, extrusión o compresión, secado y cocción de arcilla. Se usan en la construcción de muros de carga o para registros, entre otros. Las piezas huecas tienen el propósito de mejorar las condiciones de aislamiento térmico y acústico, así como de alojar los elementos de refuerzo y tuberías, además de reducir la masa de los muros.

**B.1.** Los ladrillos y bloques cerámicos pueden ser fabricados con máquina o a mano y se clasifican en los subtipos y grados de calidad indicados en la Tabla 1 de esta Norma.

**B.2.** Según su grado de calidad y los requerimientos por satisfacer, en la Tabla 2 de esta Norma se indican los usos recomendables de los ladrillos y bloques cerámicos.

**TABLA 1.- Clasificación de los ladrillos y bloques cerámicos**

Fabricación	Subtipos	Grados de calidad
Con máquina	<b>Macizos:</b> compactos en toda su masa. Admiten perforaciones perpendiculares a sus caras	A-B-C-D
	<b>Perforados:</b> tienen perforaciones generalmente perpendiculares a las caras mayores y su distribución sobre la superficie total es uniforme	B-C-D
	<b>Huecos verticales:</b> los huecos están dispuestos perpendicularmente a la cara mayor del ladrillo o bloque	C-D
	<b>Huecos horizontales:</b> los huecos están dispuestos paralelamente a la cara de mayor del ladrillo o bloque	D-E
A mano	<b>Macizos:</b> usualmente no llegan a desarrollar ligas cerámicas y son solamente macizos	E

**TABLA 2.- Usos recomendables de los ladrillos y bloques cerámicos**

Grado de calidad	Uso		
	Requerimientos estructurales <sup>[1]</sup>	Requerimientos climatológicos	Requerimientos funcionales
A	Aptos para albañilería soportante bajo tensiones elevadas (con o sin armado)	Aptos para climas severos con heladas y alta precipitación pluvial	Aptos para uso al exterior o interior en muros aparentes de una o dos caras
B	Aptos para albañilería soportante bajo tensiones moderadas (con o sin armado)	Aptos para climas con probabilidades de heladas y moderada precipitación pluvial	Aptos para uso al exterior o interior en muros aparentes de una o dos caras
C	Aptos para albañilería bajo cargas moderadas de compresión axial (semiarmada o reforzada)	Aptos para condiciones climatológicas medias del país, con poca probabilidad de heladas y moderada precipitación pluvial	Aptos para uso al exterior o interior en muros aparentes de una o dos caras. Para los ladrillos huecos se aconseja el uso de un sellador en muros exteriores
D	Aptos para albañilería simple o reforzada no soportante y con cargas moderadas de compresión axial	Aptos para climas benignos y de moderada precipitación pluvial con sellador o revestido igual al grado C	Aptos para uso al exterior o interior en muros aparentes de una cara. Para los ladrillos huecos se requiere un impermeabilizante en muros al exterior
E (Fabricados con máquina)	Aptos para albañilería simple o reforzada no soportante y con cargas bajas de compresión axial	Aptos para climas benignos y de baja precipitación pluvial	Aptos para uso en muros exteriores con revestimiento o sellador y en muros interiores
E (Fabricados a mano)	Aptos para albañilería simple o reforzada no soportante y con cargas bajas de compresión axial	Aptos solamente para climas benignos y de escasa precipitación pluvial	No se aceptan para muros aparentes al exterior sin revestimiento

[1] Ver la resistencia a la compresión simple en las Tablas 3 y 4 de esta Norma

**TABLA 4.- Características físicas para ladrillos y bloques cerámicos fabricados a mano**

Característica	Valor
	Subtipo Macizo, Grado de calidad E
Resistencia a la compresión simple; MPa, mínima	2
Adherencia; MPa, mínima	0,15
Absorción de agua; %, máxima	24

# DESCRIPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE SUELOS (PROCEDIMIENTO VISUAL Y MANUAL)

## INV E – 102 – 13

### 1 OBJETO

---

**1.1** Esta norma describe un procedimiento para identificar suelos con base en el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). La identificación se hace mediante un examen visual y ensayos manuales, condición que se debe indicar claramente al elaborar el respectivo informe.

**1.2** Cuando se requiera una identificación precisa de los suelos para usos con fines de ingeniería, se deberá usar el procedimiento descrito en el sistema unificado de clasificación (norma INV E-181) u otro apropiado.

**1.3** En esta norma, la parte de la identificación que asigna un símbolo y un nombre al grupo, se limita a las partículas menores de 75 mm (3").

**1.4** La porción del suelo identificable con esta norma está limitada a suelos que se presentan naturalmente, intactos o alterados.

**1.5** La información descriptiva de esta norma se puede usar, también, con otros sistemas de clasificación de suelos o para materiales diferentes a los suelos que se presentan de manera natural como, por ejemplo, esquistos, arcillolitas, conchas, roca triturada, etc.

**1.6** Esta norma reemplaza la norma INV E-102-07.

### 2 DEFINICIONES

---

**2.1** *Grava* – Partículas de roca que pasan el tamiz de 75 mm (3") de abertura y quedan retenidas en el tamiz de 4.75 mm (No.4). Presenta las siguientes subdivisiones:

**2.1.1** *Gruesa* – Pasa el tamiz de 75 mm (3") y queda retenida sobre el tamiz de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ ").

**2.1.2** *Fina* – Pasa el tamiz de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ ") y queda retenida sobre el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

**2.2 Arena** – Partículas de roca que pasan el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y quedan retenidas en el tamiz de 75 µm (No. 200), con las subdivisiones siguientes:

**2.2.1 Gruesa** – Pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4) y queda retenida sobre el tamiz de 2.00 mm (No. 10).

**2.2.2 Media** – Pasa el tamiz 2.00 mm (No. 10) y queda retenida sobre el tamiz de 425 µm (No. 40).

**2.2.3 Fina** – Pasa el tamiz de 425 µm (No. 40) y queda retenida sobre el tamiz de 75 µm (No. 200).

**2.3 Arcilla** – Suelo que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200), el cual puede exhibir plasticidad (consistencia como de masilla) dentro de un cierto intervalo de humedad y presentar una resistencia considerable cuando se seca al aire. Para su clasificación, una arcilla es un suelo de grano fino, o la porción fina de un suelo, con un índice de plasticidad igual o mayor que 4, para el cual la coordenada que representa el índice plástico contra el límite líquido en la carta de plasticidad cae en la línea "A" o por encima de ella (Ver Figura 181-1 de la norma INV E-181).

**2.4 Arcilla orgánica** – Una arcilla con suficiente contenido orgánico como para influir sobre las propiedades del suelo. Para la clasificación, una arcilla orgánica es un suelo que sería clasificado como arcilla, excepto que el valor de su límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75 % de dicho valor antes de secarlo.

**2.5 Limo** – Suelo que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200), ligeramente plástico o no plástico y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aire. Para clasificación, un limo es un suelo de grano fino, o la porción fina de un suelo con índice plástico menor que 4, para el cual la coordenada que representa el índice plástico contra el límite líquido cae por debajo de la línea "A", en la carta de plasticidad (Ver Figura 181-1 de la norma INV E-181).

**2.6 Limo orgánico** – Un limo con suficiente contenido orgánico como para afectar las propiedades del suelo. Para la clasificación, un limo orgánico es un suelo que sería clasificado como limo, excepto que su valor de límite líquido después de secado en el horno es menor que el 75 % de dicho valor antes de secarlo.

**2.7 Turba** – Un suelo de estructura primordialmente vegetal en estados variables de descomposición, con olor orgánico característico, color entre marrón oscuro y negro, consistencia esponjosa, y cuya textura varía desde fibrosa hasta amorfa.



*Nota 1: Para las partículas retenidas en el tamiz de 75 mm (3"), se sugieren las siguientes definiciones:*

- *Cantos rodados*– Partículas de roca que no pasan una malla con abertura cuadrada de 300 mm (12").
- *Fragmentos de roca o guijarros*– Partículas de roca que pasan una malla con abertura cuadrada de 300 mm (12") y quedan retenidas en un tamiz de 75 mm (3") de abertura.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

**3.1** Usando el examen visual y mediante ensayos manuales simples, esta norma brinda criterios para describir e identificar los suelos.

**3.2** Al suelo se le puede dar una identificación asignándole un(os) símbolo(s) de grupo y un nombre. Los diagramas de flujo para suelos de grano fino (Figuras 102-1.a y 102-1.b) y para suelos de grano grueso (Figura 102 - 2) se pueden usar para asignar símbolos de grupo y nombres apropiados. Si el suelo tiene propiedades que no lo colocan claramente dentro de un grupo específico, se pueden usar, para los fines de esta norma, unos símbolos "fronterizos" (Ver Anexo C).

*Nota 2: Es necesario hacer una distinción entre dobles símbolos y símbolos fronterizos:*

- *Doble símbolo* – Un doble símbolo corresponde a dos símbolos separados por un guion, por ejemplo: GP-GM, SW-SC, CL-ML, los cuales se usan para indicar que el suelo tiene propiedades para las cuales se requieren los dos símbolos. Estos se necesitan cuando el suelo tiene finos entre 5 y 12 % o cuando la coordenada del límite líquido y del índice plástico cae en el área CL-ML de la carta de plasticidad.
- *Símbolo fronterizo* – Un símbolo fronterizo corresponde a dos símbolos separados por una diagonal, por ejemplo: CL/CH, GM/SM, y se deberá usar para indicar que el suelo que ha sido identificado, tiene propiedades que no lo colocan de manera definitiva dentro de ningún grupo específico. Los símbolos fronterizos no forman parte del sistema unificado de clasificación de suelos (norma INV E– 181).

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

**4.1** La información descriptiva proporcionada por esta norma se puede utilizar para describir un suelo y para ayudar en la evaluación de sus propiedades significativas con fines de ingeniería.

**4.2** Esta información descriptiva se puede usar para complementar la clasificación del suelo obtenida mediante pruebas convencionales de laboratorio (norma INV E–181).

**4.3** Esta norma se puede emplear para identificar visual y manualmente los suelos, usando los mismos símbolos y nombres de grupo determinados al emplear la norma INV E–181. Por lo tanto,

y con el fin de evitar confusiones, en todo informe basado en la aplicación de la presente norma se debe aclarar, de manera taxativa, que el símbolo y el nombre asignados al suelo se basan en un procedimiento de clasificación visual y manual.

**4.4** Esta norma se puede usar no sólo para la identificación de suelos en el campo sino, también, en el laboratorio o en cualquier sitio donde se deban inspeccionar y describir muestras.

**4.5** Este procedimiento tiene un valor especial, porque permite agrupar muestras de suelos de características similares de tal manera que se necesite sólo un mínimo de ensayos de laboratorio para su correcta clasificación.

*Nota 3: La habilidad para identificar suelos correctamente se aprende fácilmente bajo la dirección de personal experimentado, pero también se puede adquirir comparando sistemáticamente los resultados numéricos de ensayos de laboratorio sobre suelos típicos de cada clase, con sus características visuales y manuales.*

**4.6** Cuando se describen e identifican muestras de suelo de una calicata, un sondeo, o grupo de sondeos o calicatas, no es necesario seguir todos los procedimientos de esta norma para cada muestra. Suelos de características aparentemente similares se pueden agrupar y una muestra ya descrita e identificada completamente se puede relacionar entonces con otras similares, de manera que sólo se requiera efectuar unos pocos de los ensayos y procedimientos de identificación aquí descritos.

---

## 5 EQUIPO

**5.1** Navaja de bolsillo o espátula pequeña.

**5.2** Un pequeño tubo de ensayo con tapón (o un recipiente con tapa).

**5.3** Lupas de mano pequeñas.

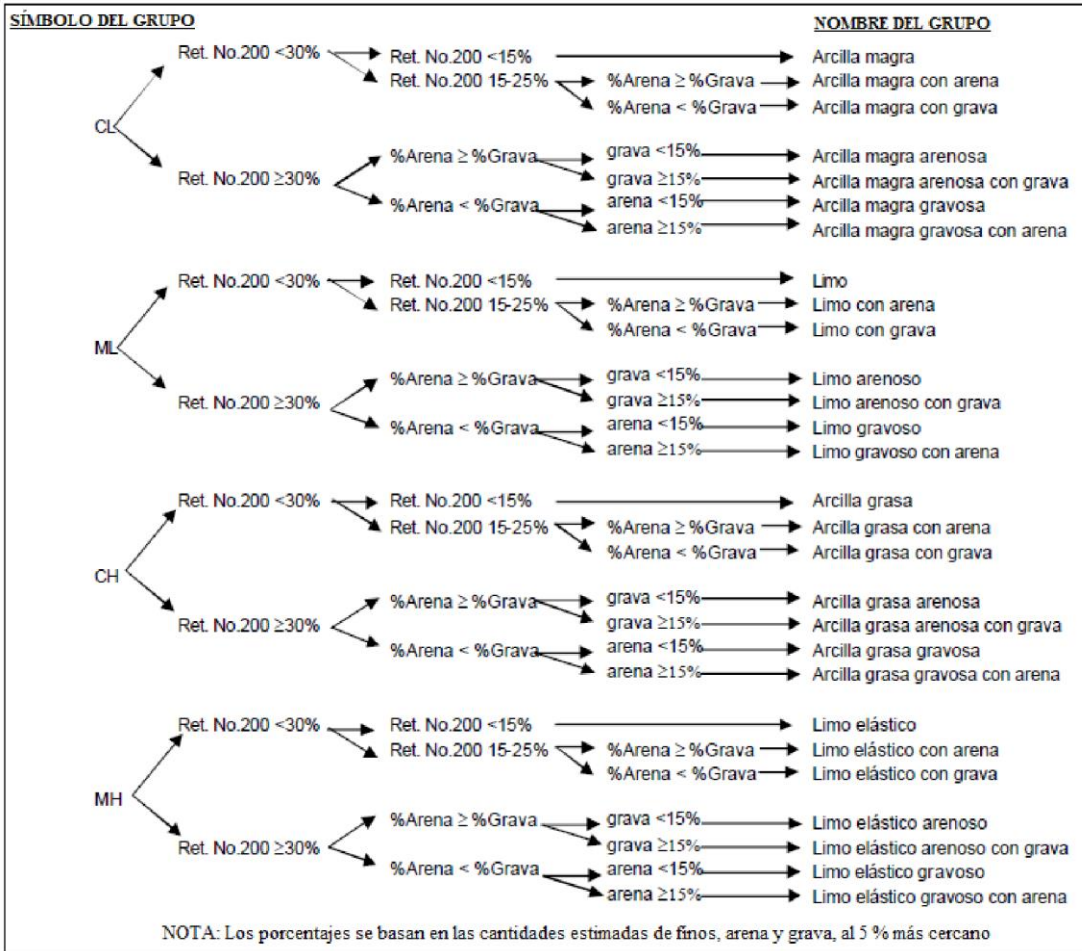


Figura 102 - 1.a. Diagrama de flujo para la identificación de suelos inorgánicos de grano fino

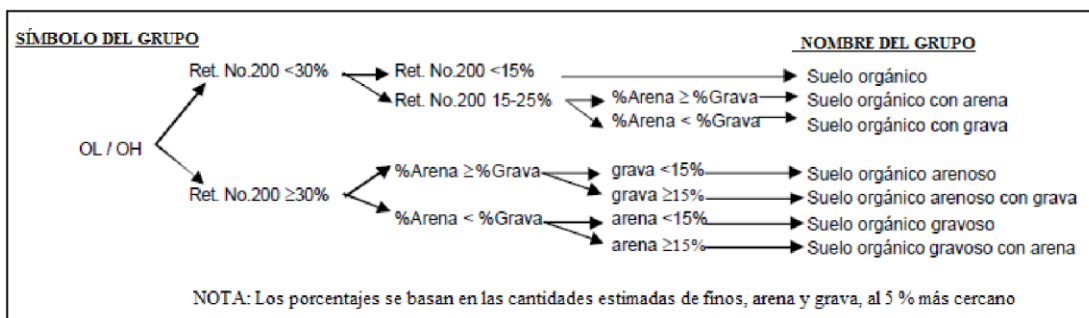
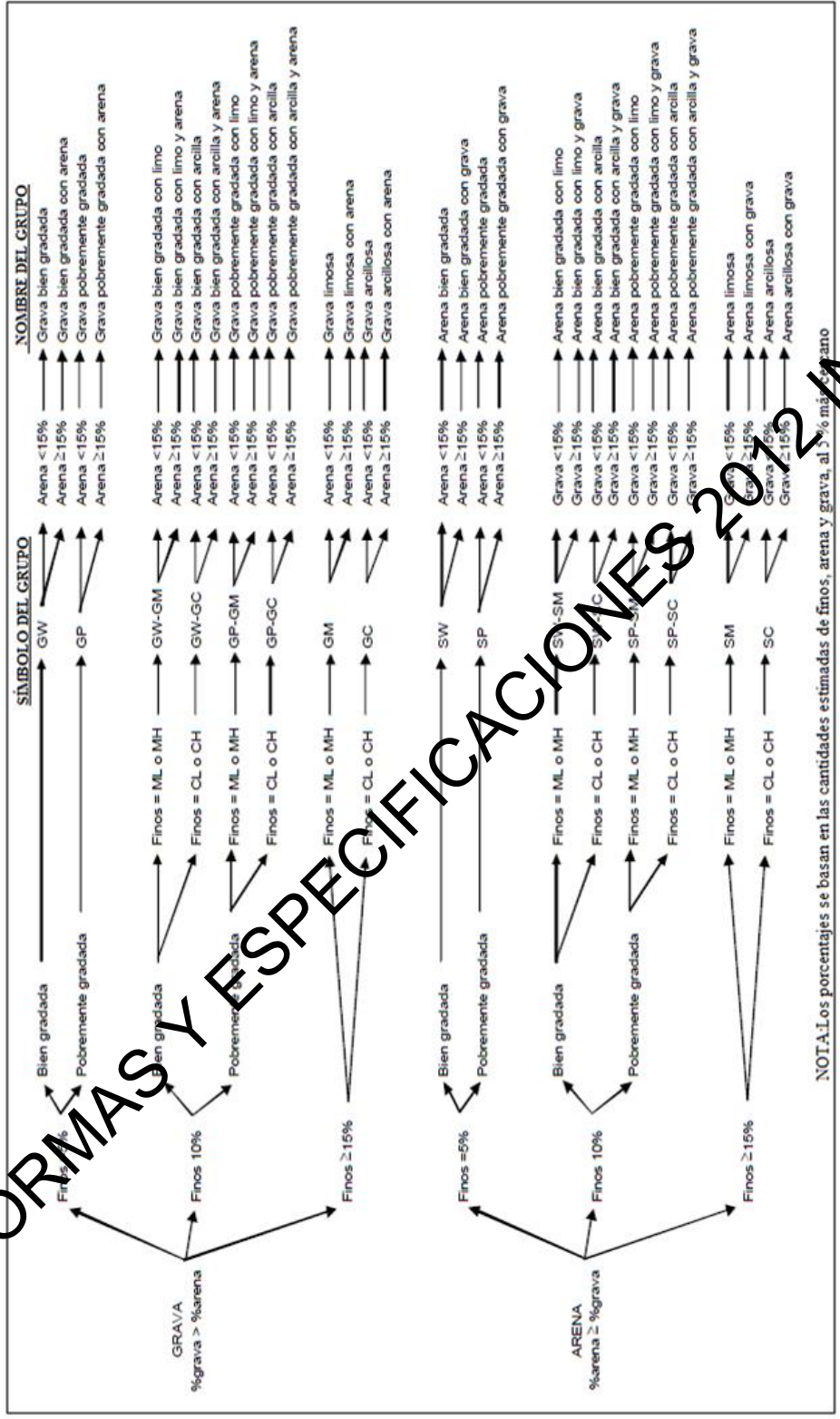


Figura 102 - 1.b. Diagrama de flujo para la identificación de suelos orgánicos de grano fino

# NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS



NOTA: Los porcentajes se basan en las cantidades estimadas de finos, arena y grava, al 3% más de grano

Figura 102 - 2. Diagrama de flujo para la identificación de suelos de grano grueso (menos de 50 % de finos)

## 6 REACTIVOS

---

### 6.1

*Agua* – A menos que se indique otra cosa, cuando se deberá dar por entendido que ella proviene de un fuente natural, incluida agua que no sea potable.

### 6.2

*Ácido clorhídrico* – Una pequeña botella de ácido clorhídrico (10 N) en tres partes de agua destilada (opcional). (Véase la Sección 7).

S  
INVIA

## 7 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

---

### 7.1

Al preparar la solución diluida de HCl de una parte (10 N) en tres partes de agua destilada, se debe agregar agua, tomando las precauciones de seguridad necesarias. Deberá manejar con cuidado y almacenar con seguridad. Evite el contacto con la piel, ésta se deberá lavar inmediatamente. Por ningún motivo se podrá agregar agua al ácido.

## 8 MUESTREO

---

**8.1** La muestra deberá ser obtenida mediante un procedimiento normalizado y aceptado para ser considerada como representativa.

**8.2** Las muestras se deberán identificar cuidadosamente con respecto a su origen.

*Nota 4: Las anotaciones concernientes al origen deberán incluir un número para la perforación, así como un número para la muestra; referirse a un estrato geológico y a un horizonte pedológico, contener una descripción del lugar y relacionar su localización con respecto a una referencia permanente, así como la profundidad y cota de la cual se obtuvo.*

**8.3** Para su descripción e identificación exactas, la cantidad mínima de la muestra que se debe examinar, estará de acuerdo con la siguiente lista:

TAMAÑO MÁXIMO DE LAS PARTÍCULAS (ABERTURA DEL TAMIZ)		TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA, PESO SECO AL AIRE
NORMAL	ALTERNO	
4.75 mm	(No. 4)	100 g
9.5 mm	(3/8")	200 g
19.0 mm	(3/4")	1.0 kg
39.1 mm	(1 1/2")	8.0 kg
75.0 mm	(3")	60.0 kg

- 8.4 Cuando la muestra que está siendo examinada sea más pequeña que la cantidad mínima recomendada, el informe deberá incluir una anotación apropiada con respecto a esta situación.

## 9 INFORMACIÓN DESCRIPTIVA PARA LOS SUELOS

- 9.1 *Angulosidad* – Describir la angulosidad de la arena (únicamente tamaños gruesos), grava, guijarros, y fragmentos, como angulosos, sub-angulosos, sub-redondeados, y redondeados, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 1 y de la Figura 102 - 3. Se puede establecer un intervalo de angulosidad, tal como: de sub-redondeados a redondeados.

Tabla 102 - 1. Angulosidad de las partículas gruesas

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Angulosa:	Partículas con bordes agudos y caras relativamente planas con superficies sin pulimentar
Sub-angulosa:	Partículas similares a las angulosas, pero con bordes algo redondeados
Sub-redondeada:	Partículas con casi todas las caras planas, pero con esquinas y bordes redondeados
Redondeada:	Partículas con lados curvados suavemente y sin bordes

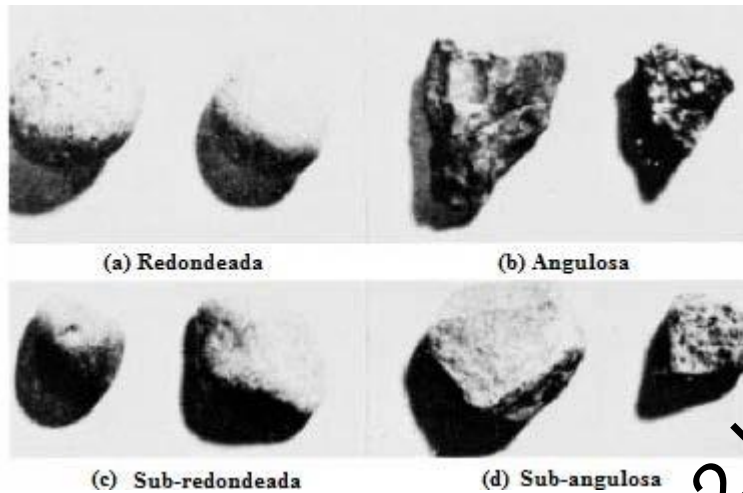
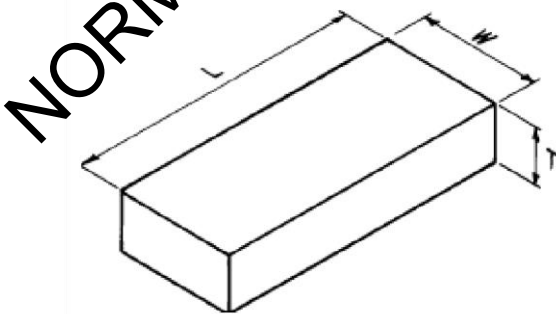


Figura 102 - 3. Angulosidad típica de las partículas gruesas

- 9.2 **Forma** – Describir la forma de la grava, guijarros y fragmentos como plana, alargada, o como plana y alargada si cumple con los criterios de la Tabla 102 - 2 y de la Figura 102 - 4. De otra manera, no se debe mencionar la forma. Se deberá indicar la fracción de las partículas que tienen determinada forma; por ejemplo, un tercio de las partículas de grava son planas.

Tabla 102 - 2. Forma de las partículas

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
La longitud es la dimensión mayor; el ancho es la dimensión intermedia y el espesor es la menor dimensión	
Planas:	Partículas con ancho/espesor $> 3$
Alargadas:	Partículas con longitud/ancho $> 3$
Planas y alargadas	Partículas que cumplen criterios de planas y alargadas



L = Longitud  
W = Ancho  
T = Espesor

PLANAS:  $W/T > 3$   
ALARGADAS:  $L/W > 3$   
PLANAS Y ALARGADAS : satisfacen los 2 criterios

Figura 102 - 4. Criterios para la forma de las partículas

**9.3 Color** – Describir el color. El color es una propiedad importante para la identificación de los suelos orgánicos y, dentro de una región dada, puede ser también útil para identificar materiales de origen geológico similar. Si la muestra contiene capas o parches de colores variables, se deberán anotar y describir los colores que las representan. Se describirá el color para las muestras húmedas. Cuando el color corresponde a una muestra seca, se deberá dejar constancia de ello en el informe (Figura 102 - 5).



Figura 102 - 5. Cambio de color de una partícula de granito de acuerdo con su humedad

**9.4 Olor** – Describir el olor si es orgánico o poco usual. Suelos que contienen una cantidad significativa de material orgánico tienen, generalmente, el olor característico de la vegetación en putrefacción, el cual se hace más patente en las muestras frescas. Si las muestras están secas, a menudo se puede revivir el olor calentando una muestra previamente humedecida. Cuando el olor es inusual (productos de petróleo, químicos y similares), se debe anotar esta peculiaridad en el informe.

**9.5 Condición de humedad** – Describir la humedad como seca, húmeda o saturada, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 3.

Tabla 102 - 3. Condiciones de humedad

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Seca:	Ausencia de humedad, polvorosa, seca al tacto
Húmeda:	Húmeda, pero sin agua visible
Saturada:	Agua libre visible; generalmente bajo el nivel freático

**9.6 Reacción con HCl** – Describir la reacción con HCl como nula, débil o fuerte, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 4. Puesto que el carbonato de calcio es un agente cementante común, se debe informar de su presencia si la reacción con el ácido clorhídrico diluido es importante.



Tabla 102 - 4. Reacción al HCl

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Nula:	Sin reacción visible
Débil:	Reacción ligera, se forman burbujas lentamente
Fuerte:	Reacción fuerte, se forman burbujas de inmediato

- 9.7** *Consistencia* – Para suelos intactos de grano fino, describir la consistencia como muy blanda, blanda, firme, dura, o muy dura, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 5. Esta observación no es apropiada para suelos con cantidades significativas de grava.

Tabla 102 - 5. Criterios para describir la consistencia

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Muy blanda:	El dedo pulgar penetra en el suelo más de 25 mm
Blanda:	El dedo pulgar penetra aproximadamente 25 mm
Firme:	El dedo pulgar deja una marca de unos 6 mm
Dura:	El dedo pulgar no deja marca, pero sí lo penetra la uña
Muy dura:	La uña del pulgar no hace mella en el suelo

- 9.8** *Cementación* – Describir la cementación de los suelos intactos de grano grueso como débil, moderada o fuerte, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 6.

Tabla 102 - 6. Criterios para describir la cementación

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Débil:	Se desmorona o rompe al tocarlo, o con poca presión de los dedos
Moderada:	Se desmorona o rompe con considerable presión de los dedos
Fuerte:	No se desmorona ni se rompe con la presión de los dedos

**9.9 Estructura** – Describir la estructura de los suelos intactos, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 7.

Tabla 102 Criterios para describir la estructura

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Estratificada:	Capas alternadas de color o material variable, con espesor de por lo menos 6 mm, el cual se debe anotar
Laminada:	Capas alternadas de color o material variable, con espesor menor de 6 mm, el cual se debe anotar
Fisurada:	Rotura según planos definidos de fractura, con poca resistencia a ésta
Lisa:	Planos de fractura lisos o lustrosos, algunas veces estriados
En bloques:	Suelo cohesivo que se puede romper en pequeños terrones angulosos resistentes a una rotura adicional
Lenticular:	Inclusión de pequeñas bolsas de diferentes suelos; tales como pequeños cristales de arena esparcidos en una masa de arcilla. Se debe anotar el espesor
Homogénea:	Un solo color y apariencia uniforme

**9.10 Rango de los tamaños de las partículas** – Para componentes de grava y arena, describir el rango de los tamaños de las partículas dentro de cada componente como se define en la Sección 2. Por ejemplo: alrededor de 20 % de grava fina a gruesa, alrededor del 40 % de arena de fina a gruesa, etc.

**9.11 Tamaño máximo de partícula** – Se describe el tamaño máximo de partícula hallado en la muestra, de acuerdo con la siguiente información:

**9.11.1 Tamaño de arena** – Si el tamaño máximo de la partícula es del tamaño de arena, se describe ésta como fina, mediana, o gruesa como se define en la Sección 2. Por ejemplo: el tamaño máximo de la partícula es el de arena media.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012

**9.11.2 Tamaño de grava** – Si el tamaño máximo de la partícula corresponde a grava, se describe el tamaño máximo como el del tamiz más pequeño que pasará la partícula. Por ejemplo, tamaño máximo de la partícula = 37.5 mm (1½"), [pasa el tamiz de 37.5 mm (1½") pero no el de 19.0 mm (¾")].

**9.11.3 Tamaños de cantos rodados y de guijarros o fragmentos de roca** - Si el tamaño máximo de la partícula es el de cantos rodados o el de guijarros, se describe la dimensión máxima de la partícula mayor. Por ejemplo: dimensión máxima 450 mm (18").

**9.12 Dureza** – La dureza de la arena gruesa y de las partículas mayores se deberá describir como "dura", o mencionar lo que sucede cuando las partículas son golpeadas con un martillo. Por ejemplo: "las partículas de grava se fracturan con considerable número de golpes de martillo" o "algunas partículas se desmoronan con un golpe de martillo". "Duras" quiere decir partículas que no se agrietan, fracturan ni desmoronan bajo un golpe de martillo.

**9.13 Comentarios adicionales** – Se deben presentar comentarios tales como la presencia de raíces o de huecos debidos a éstas; las dificultades presentadas al efectuar los barrenos, al hacer la excavación de trincheras o calicatas, la presencia de mica, etc.

**9.14** Agregar al suelo un nombre local comercial o una información geológica, ayuda en su identificación. Así mismo, se podrá agregar una clasificación e identificación del suelo de acuerdo con otros sistemas que lo identifiquen como tal.

## 10 IDENTIFICACIÓN DE LA TURBA

**10.1** Una muestra compuesta principalmente de tejidos vegetales en estados variables de descomposición con una textura de fibrosa a amorfa, usualmente de color marrón oscuro a negro y con olor orgánico característico, se deberá designar como un suelo altamente orgánico e identificarse como turba, P<sub>t</sub>, y no se someterá a los procedimientos de identificación descritos más adelante.

## 11 PREPARACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN

**11.1** La fracción de suelo empleada para la identificación que se hace con esta norma, se basa en la porción de la muestra que pasa por el tamiz de 75 mm (3"). Las partículas mayores deben ser removidas manualmente cuando la muestra esté suelta, o mentalmente en el caso de una muestra intacta, antes de clasificar el suelo.

**11.2** Se estima y anota el porcentaje de cantos rodados y el de gujarros. Al efectuar estos estimativos visuales, se harán sobre la base de porcentajes en volumen.

*Nota 5: Puesto que los porcentajes en el análisis granulométrico son dados en relación con las masas secas y los estimativos de los porcentajes para gravas, arenas y finos en esta norma lo son también por masa seca, es recomendable que el informe establezca que los porcentajes de fragmentos y gujarros están dados por volumen.*

**11.3** De la muestra de suelo menor que 75 mm (3"), se estima y anota el porcentaje, en masa seca, de la grava, arena y finos (En el Anexo D se sugieren unos procedimientos).

*Nota 6: Puesto que la composición granulométrica se hace visualmente con base en el volumen, se necesita considerable experiencia para estimar dichos porcentajes con base en el peso seco y se deberán hacer comparaciones frecuentes con análisis efectuados en el laboratorio.*

**11.3.1** Los porcentajes se estimarán con aproximación del 5 %. La suma de los porcentajes de grava, arena y finos deberá dar 100 %.

**11.3.2** Si uno de los componentes se halla presente, pero no en cantidad suficiente como para considerar el 5 % de la fracción que pasa el tamiz de 75 mm (3"), se indica su presencia con el término "trazas"; por ejemplo: trazas de finos. Una traza no se debe considerar en el total del 100 % para los componentes.

## **12 IDENTIFICACIÓN PRELIMINAR**

**12.1** El suelo es de *grano fino*, si contiene 50 % o más de finos. Se debe seguir el procedimiento de la Sección 13 para la identificación de los suelos de grano fino.

**12.2** El suelo es de *grano grueso*, si contiene menos del 50 % de granos finos. Se debe seguir el procedimiento de la Sección 14 para identificar suelos gruesos.

## **13 PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICAR LOS SUELOS DE GRANO FINO**

**13.1** Se escoge una muestra representativa del material que se va a examinar. Se remueven las partículas mayores que el tamiz de 425 µm (No. 40) (arena media y gruesa), hasta disponer de una muestra equivalente a un puñado de material. Esta muestra se usa para realizar las pruebas de resistencia seca, dilatancia y tenacidad.

## 13.2 Resistencia seca:

**13.2.1** Se escoge material suficiente de la muestra para moldear una esfera de alrededor de 25 mm (1") de diámetro, moldeándola hasta que tenga la consistencia de una masilla, agregando agua si fuere necesario.

**13.2.2** Del material moldeado, se elaboran al menos 3 especímenes. Un espécimen para el ensayo consistirá en una esfera de material de 12.5 mm (½") de diámetro, aproximadamente. Se permite que los especímenes de ensayo se sequen al aire, al sol o por medios artificiales, siempre que la temperatura no exceda de 60° C (140° F).

**13.2.3** Si la muestra contiene terrones naturales secos de alrededor de 12.5 mm (½") de diámetro, éstos se pueden usar en lugar de las esferas moldeadas.

*Nota 7: El proceso de moldeo y secado produce resistencia generalmente mayores que las halladas en terrones naturales secos.*

**13.2.4** Se prueba la resistencia de las bolitas o los terrones, apretándolos entre los dedos. Se anota su resistencia como nula, baja, mediana, alta, o muy alta, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 8. Si se usan terrones naturales secos, se deben desechar los resultados de los que contengan partículas de arena gruesa.

**13.2.5** La presencia de materiales cementantes de alta resistencia que son solubles en agua, como el carbonato de calcio, puede causar resistencias secas excepcionalmente altas. La presencia de este carbonato se puede detectar, generalmente, por la intensidad de la reacción con el ácido clorhídrico diluido (ver numeral 9.6).

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Tabla 102 - 8. Criterios para describir la resistencia en seco

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Nula:	La muestra se desmorona bajo la simple manipulación
Baja:	La muestra seca se desmorona hasta pulverizarse con ligera presión de los dedos
Mediana:	La muestra seca se rompe en fragmentos o se desmorona bajo una presión considerable de los dedos
Alta:	La muestra seca no se rompe con la presión de los dedos, pero se romperá al aprisionarla con el pulgar sobre una superficie dura
Muy alta:	La muestra no se puede romper al aprisionarla con el pulgar sobre una superficie dura

**13.3 Dilatancia:**

**13.3.1** Se escoge suficiente material para moldear una esfera de, aproximadamente, 12.5 mm (1/2"), de diámetro, se moldea y se agrega agua, si fuere necesario, hasta que el suelo adquiriera consistencia blanda pero no pegajosa.

**13.3.2** Con una navaja o una pequeña espátula se aplana la esfera de suelo así formada en la palma de una de las manos; se agita horizontalmente golpeándola contra la otra mano varias veces. Se anota la reacción cuando aparezca el agua en la superficie del suelo. Se exprime la muestra cerrando la mano o apretándola entre los dedos y se anota la reacción como nula, lenta o rápida, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 9. La reacción es la velocidad con la cual aparece el agua mientras se sacude y desaparece cuando se aprieta.

Tabla 102 - 9. Criterios para describir la dilatancia

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Nula: No hay cambio visible en la muestra	
Lenta: El agua aparece lentamente en la superficie de la muestra al sacudirla, pero no desaparece o lo hace lentamente al apretarla	
Rápida: El agua aparece rápidamente sobre la superficie de la muestra mientras se la sacude y desaparece rápidamente al apretarla	

### 13.4 Tenacidad

**13.4.1** Después del examen de dilatancia, la muestra se conformará en una pastilla alargada y se enrollará con la mano sobre una superficie lisa o entre las palmas de las manos hasta formar rollos de cerca de 3 mm (1/8") de diámetro. (Si la muestra está muy húmeda para hacer fácilmente los rollos, se extiende en una capa delgada para que pierda agua por evaporación). Se desharán luego los rollitos formados y se volverán a enrollar repetidamente hasta que se desmoronen a un diámetro de 3 mm (1/8"). Cuando el rollo se desmorona a este diámetro, el suelo está cerca del límite plástico. Se anotará la presión requerida para formar los rollitos cerca del límite plástico, así como su resistencia. Después de que el rollito se desmorone, se deberán juntar

los terroncitos que quedan y amasarlos hasta que se desmoronen y se anotará entonces la tenacidad del material durante el amasado.

**13.4.2** Se describe la tenacidad de terrones y rollitos como baja, mediana o alta, de acuerdo con los criterios de la Tabla 102 - 10.

Tabla 102 - 10. Criterios para describir la tenacidad |

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
Baja: Solo se requiere ligera presión para formar rollitos cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones son débiles y blandos	
Mediana: Se requiere presión mediana para formar rollitos cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones tienen mediana tenacidad	
Alta: Se requiere una presión considerable para formar rollitos cerca del límite plástico. Los rollitos y los terrones tienen muy alta tenacidad	

**13.5 Plasticidad** - Con base en las observaciones hechas durante el ensayo de tenacidad, se debe describir la plasticidad del material según los criterios dados en la Tabla 102 - 11.

**13.6** Se decide si el suelo es inorgánico u orgánico de grano fino (Ver numeral 13.8); si fuere inorgánico, se seguirán los pasos dados en el numeral 13.7.

**13.7** Identificación de los suelos inorgánicos de grano fino:

**13.7.1** Se identifica el suelo como arcilla magra, CL, cuando presenta resistencia seca de mediana a alta, ninguna o poca dilatancia, y tenacidad y plasticidad medianas (Ver Tabla 102 - 12).

**13.7.2** Se identifica como arcilla grasa, CH, cuando el suelo tiene resistencia en seco entre elevada y muy alta, ninguna dilatancia, y tenacidad y plasticidad altas (Ver Tabla 102 - 12).

**13.7.3** Se identifica el suelo como un limo, ML, cuando tiene resistencia seca baja o nula, dilatancia de lenta a rápida, y tenacidad y plasticidad bajas, o si es no plástico (Ver Tabla 102 - 12).



Tabla 102 - 11. Criterios para describir la plasticidad

DESCRIPCIÓN	CRITERIOS
No plástico:	No se pueden formar rollitos de 3 mm de diámetro con ningún contenido de humedad
Baja:	Se pueden formar rollitos con dificultad y no se pueden formar terrones cuando el suelo tiene una humedad inferior al límite plástico
Media:	Es fácil formar el rollito y el límite plástico se alcanza con rapidez. No se puede volver a enrollar la misma muestra después que alcanza el límite plástico. Los terrones se desmoronan cuando se secan por debajo del límite plástico.
Alta:	Toma un tiempo considerable formar rollos y remoldearlos para alcanzar el límite plástico, pero la muestra se puede volver a enrollar varias veces después de alcanzar el límite plástico. Se pueden formar terrones sin que se desmoronen cuando tienen una humedad inferior al límite plástico

INVIAS

2012

**13.7.4** Se identifica el suelo como un limo elástico, MH, cuando tiene resistencia en seco de baja a mediana, dilatancia de nula a lenta, y tenacidad y plasticidad de bajas a medias (Ver Tabla 102 - 12). Estas propiedades son similares a las de una arcilla magra; sin embargo, el limo se secará rápidamente en la mano y dará la sensación de mucha suavidad cuando está seco. Algunos suelos que clasificarían como MH son difícilmente distinguibles de la arcilla magra y se pueden requerir, entonces, ensayos de laboratorio para su adecuada identificación.

Tabla 102 - 12. Identificación de suelos inorgánicos de grano fino mediante ensayos manuales

SÍMBOLO DEL SUELO	RESISTENCIA SECA	DILATANCIA	TENACIDAD
ML:	Nula a baja	Lenta a rápida	Baja, no se pueden formar rollitos
CL:	Media a alta	Nula a lenta	Media
MH:	Baja a media	Nula a lenta	Baja a media
CH:	Alta a muy alta	Nula	Alta

**13.8** Identificación de suelos orgánicos de grano fino:

**13.8.1** Se identificará el suelo como orgánico OL/OH, cuando contiene suficientes partículas orgánicas para influir sobre sus propiedades. Los suelos orgánicos tienen generalmente color de marrón oscuro a negro y pueden tener olor orgánico. A menudo, los suelos orgánicos cambian de color, por ejemplo, de negro a marrón cuando se exponen al aire. Algunos suelos orgánicos aclaran notablemente su color cuando se secan al aire. Los suelos orgánicos no presentan normalmente tenacidad ni plasticidad alta y los rollitos para el ensayo de tenacidad serán esponjosos.

*Nota 8: En algunos casos, con práctica y experiencia, puede ser posible identificar más ampliamente los suelos orgánicos como limos o como arcillas orgánicas, OL, u OH, y se pueden correlacionar la dilatancia, la resistencia seca y la tenacidad con los ensayos de laboratorio, para identificarlos en algunos depósitos de materiales similares de origen geológico conocido.*

**13.8.2** Si se estima que el suelo tiene de 15 a 25 % de arena o grava, o ambas, deben ser adicionadas las palabras “con arena” o “con grava” (la que sea más predominante) al nombre del grupo. Por ejemplo: “arcilla magra con arena, CL” o “limo con grava, ML” (ver Figura 102 - 1.a y 1.b). Si el porcentaje de arena es igual al porcentaje de grava, se usa “con arena”.

**13.8.3** Si se estima que el suelo tiene 30 % o más de arena o grava, o ambas, el término “arenoso” o “gravoso” debe ser adicionado al nombre del grupo. Se adiciona el término “arenoso” si tiene más arena que grava y se adiciona el término “gravoso” si tiene más grava que arena. Por ejemplo: “arcilla magra arenosa, CL”, “arcilla grasa gravosa, CH” o “limo arenoso, ML” (ver Figura 102 - 1.a y 1.b). Si el porcentaje de arena es igual al porcentaje de grava, se usa “arenoso”.