



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Venado Tuerto

Desarrollo de Materiales Compuestos en Base a Tierra Cruda Incorporando Residuos de Explotaciones Agrícolas.

TESIS DE GRADO

Araí Stefani Rieppi Godoy

Ing. Pablo Costamagna
Director Técnico

Ing. Mauricio Revelant
Director Académico

Ing. Oscar Braun
Asesor Técnico

Número de Proyecto: 75

Ingeniería Civil

Argentina

2020

*A mis padres y hermanos
por su invaluable apoyo*

Agradecimientos

A mi familia por su amor y apoyo constante durante esta etapa de mi vida. A mi hermana Ayelén S. Rieppi Godoy por plantarme el interés por la ingeniería y compartir este camino juntas.

Quiero expresar mi más sincera gratitud hacia mi Director de Tesis el Ing. Pablo Costamagna y mi Co-Director el Ing. Oscar Braun. Este trabajo no podría haber sido realizado sin su dirección y continuo apoyo. El compromiso de ellos, con la academia y sobretodo su calidad humana me ayudó a superar varias dificultades durante esta investigación.

Quiero extender el agradecimiento hacia el grupo de becarios del Grupo Hormiterra de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Venado Tuerto (UTN–FRVT), quienes participaron en toda la parte experimental del proyecto con seriedad y compromiso.

Quiero agradecer de manera muy especial a mi hermano Nihuel E. Rieppi Godoy, por su colaboración en la realización de las probetas.

También quiero agradecer al Dr. Leandro Prevosto y al Dr. Juan Camilo Chamorro Garcés, por compartir su amplio conocimiento e introducirme en el área de investigación y guiarme en la realización de este trabajo.

Finalmente, a la Facultad Regional Venado Tuerto por hacer posible la realización de este proyecto.

Araí S. Rieppi Godoy

Resumen

La creación de nuevos materiales y morteros de bajo impacto ambiental es un campo muy activo en el área de arquitectura sostenible. A pesar de esto, son muy escasos los reportes bibliográficos relacionados con el desarrollo y uso de compuestos en base a tierra que incorporen a la mezcla residuos de la explotación agrícola, muy abundantes en general en la república argentina, y en particular en la región. En esta Tesis, se reportan las propiedades mecánicas, tales como resistencia a compresión, densidad y trabajabilidad, de un material compuesto en base a tierra como componente dominante, cemento y residuos de explotaciones agrícolas. En particular, se empleó el marlo de maíz como material liviano dentro del compuesto, variando la dosificación volumétrica de este y del agua de amasado. Se estudió la trabajabilidad, la densidad y la resistencia en función del contenido de agregado grueso (marlo) y el nivel de humedad de la mezcla. Se moldearon probetas cilíndricas las cuales se ensayaron a compresión simple variando la edad de las mismas, obteniendo sus correspondientes valores de resistencia a rotura. Se realizó también un análisis de costo teniendo en cuenta la composición de cada mezcla. Se plantearon aplicaciones en la construcción con base en los resultados obtenidos. Por ejemplo, todas las mezclas ensayadas se encontraron dentro del rango de resistencias establecido por la norma CIRSOC 101-2005 (de 0.01 a 0.03 kg/cm²) para el caso de contrapisos de pendiente para azoteas inaccesibles o accesibles privadamente. Para bajas densidades de material liviano se alcanzaron resistencias de 1.5 kg/cm². El costo del compuesto obtenido en este caso fue 2.5 veces menor que el hormigón utilizado tradicionalmente en la construcción (Hormigón H4). Finalmente, se describe brevemente la propuesta del uso del adobe con agregado vegetal como material de construcción, actualmente en etapa inicial de desarrollo.

Índice

1. Introducción.	6
1.1. La tierra como material de construcción.	6
1.2. El suelo como materia prima.	7
1.2.1. La formación del suelo.	7
1.2.2. Tipos de suelos.	8
1.2.3. Propiedades de los suelos.	9
1.3. Técnicas constructivas con suelo.	10
1.4. Marlo de maíz.	13
1.5. Objetivo general.	14
1.5.1. Objetivos específicos.	14
2. Estado del arte.	16
3. Metodología.	17
3.1. Materia Prima.	17
3.1.1. Suelo.	17
3.1.2. Marlo de maíz.	23
3.2. Proceso experimental.	26
3.2.1. Preparado del material compuesto.	26
3.2.2. Generación de probetas.	31
3.2.3. Ensayo a compresión simple.	34
4. Resultados y Discusión.	37
4.1. Densidad y Resistencia a compresión.	37
4.2. Humedad de la probeta en el momento de ensayo.	40
4.3. Costos.	40
4.4. Aparición de moho.	42
5. Aplicaciones en la construcción.	43
5.1. Contrapiso de pendiente.	43
5.2. Adobes con agregado vegetal.	45
6. Conclusiones y trabajos futuros.	50
6.1. Conclusiones.	50
6.2. Futuras líneas de investigación.	51
Bibliografía.	53
Anexo: Resultados de ensayos.	55

Capítulo 1

1. Introducción.

1.1. La tierra como material de construcción.

En la actualidad y crecientemente la sociedad demanda edificaciones económicas, amigables con el medio ambiente y energéticamente eficientes, dando mayor valor a la salud interior de sus casas y a un confort climático interior. Estos requerimientos de hábitat han generado un cambio de visión despertando un interés en materiales de construcción locales y técnicas de autoconstrucción.

En los países industrializados la desmedida explotación de los recursos naturales y los sistemas de producción centralizados intensivos en capital y energía no solo generan desperdicios, sino que contaminan el medio ambiente. En esos países la tierra ha resurgido como material de construcción.

Las técnicas de construcciones en tierra, junto con la madera y la piedra, surgieron en las primeras civilizaciones expandiéndose a otros lugares a través de las invasiones y conquistas, adaptando la técnica constructiva a cada suelo y clima. La arquitectura de tierra es uno de los productos culturales más antiguos de la civilización con la que se construyeron grandes núcleos urbanos en la mayor parte del mundo. Aunque tuvo su importancia en el pasado, durante estos dos últimos siglos ha desaparecido prácticamente del panorama de la construcción debido a la aparición de los sistemas industrializados, los cuales están contemplados dentro de reglamentos y los usuarios tienen una garantía asegurada por los fabricantes. En el caso de la tierra no ocurría. Sin embargo, en las últimas décadas con el desarrollo de investigadores y grupos interesados en la construcción con tierra se ha empezado a introducir en el mundo de la industrialización y en el marco legal de las normas de construcción. Seguramente, a raíz del cambio climático la sociedad se ha sensibilizado y ha empezado a interesarse por lo sostenible y ecológico.

Las tecnologías de construcción con tierra, si bien son las más ancestrales de la humanidad, han sufrido un período de olvido y negación en favor de otros materiales más nuevos y menos probados. En la actualidad y debido entre otras cosas al aumento descontrolado del uso de la energía disponible es que se está rescatando y actualizando la utilización de materiales naturales para su uso en el mejoramiento del hábitat humano.

Muchas técnicas poco utilizadas y olvidadas en favor de materiales más publicitados, ven en estos momentos la posibilidad de su renovación con la incorporación de conocimientos tecnológicamente más desarrollados y con equipos y laboratorios que permiten una rápida y eficaz determinación de sus propiedades.

Por otra parte, la utilización de agregados naturales para mejorar las propiedades de los materiales es una alternativa para el reemplazo total o parcial de los productos sintéticos para un menor impacto ambiental del producto como tal y una vez convertido en residuo.

1.2. El suelo como materia prima.

1.2.1. *La formación del suelo.*

El suelo es un sedimento de roca y de ser vivo, mezcla inorgánica y orgánica, con pequeñas cantidades de agua y aire. La formación del suelo es un proceso que tarda millones de años, en el cual, la roca madre sufre mecanismos de meteorización (desintegración mecánica y descomposición química). Estos procesos son atribuidos al agua, la atmósfera, las plantas, la vida animal, al clima y al tiempo, también llamados agentes generadores de suelos.

La desintegración física no produce alteración de los minerales constitutivos de la roca madre, sino una separación entre ellos generando suelos arenosos y limosos. Por su parte, cuando se produce la descomposición química o la meteorización química de las rocas, los minerales de roca originales se transforman en nuevos minerales por reacciones químicas. Los suelos formados no tienen las propiedades de la roca madre por lo que resulta en la formación de minerales de arcilla (1).

Dependiendo del tipo de roca madre y del clima, las características físico-químicas del suelo pueden ser muy diversas. Las propiedades de un suelo están directamente relacionadas con su forma, tamaño, color, temperatura, textura, humedad, porosidad y densidad. Es imprescindible estudiar el tipo de material con el que vamos a trabajar, ante todo, saber su granulometría (% de composición y distribución de diversas partículas), plasticidad, compresibilidad (resistencia a la compresión) y cohesión.

Para que un suelo sea considerado como material de construcción debe cumplir ciertos parámetros. Uno de los requerimientos básicos es que la tierra no contenga humus, es decir, aquella primera capa de tierra que contiene materiales orgánicos, hongos, raíces, bacterias, etc. Es decir, se debe rechazar cualquier tierra que contenga una cantidad superior al 2% de materia orgánica (2) o sales solubles en contenido mayor del 2% (3). Es por esto que el estrato desde donde se obtiene el material es muy importante.

El suelo consiste en diferentes capas que a menudo se llaman horizontes. La mayor parte de los suelos maduros poseen al menos tres de los horizontes posibles, pero algunos suelos nuevos o pocos desarrollados carecen de ellos. Se pueden identificar dos grupos de Horizontes: Orgánicos: parte superior del suelo (O); y Minerales: en el centro hay tres horizontes principales A, B y C y roca madre (R) (**Figura 1**)

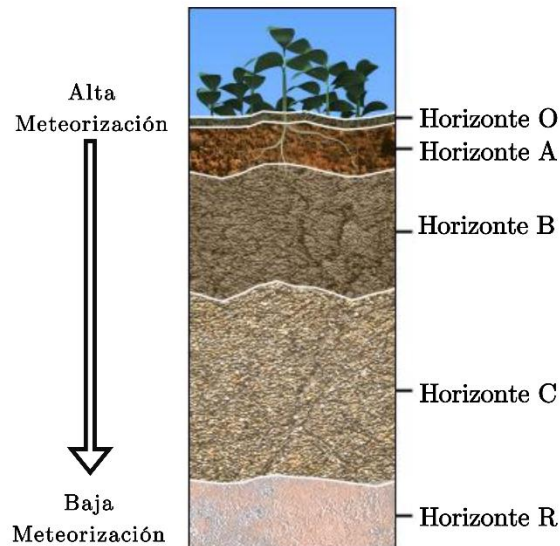


Figura 1. Horizontes o capas del suelo (1)

- *Horizonte O*: Esta es una capa compuesta principalmente de materia orgánica que tiene alrededor 50 cm de grosor y está hecha de material vegetal muerto como hojas y ramas.
- *Horizonte A*: también se denomina superficie del suelo, tiene un espesor aproximado entre 100 y 250 cm y está compuesto principalmente de materia inorgánica y minerales. Su color es generalmente más claro, permite el paso del agua arrastrando hacia abajo los fragmentos de tamaño fino y de compuestos solubles. En esta capa se encuentran las arenas, los limos y arcillas.
- *Horizonte B*: esta capa también se denomina subsuelo. Está compuesto principalmente de limo, arcilla, minerales de hierro y vestigios de materia orgánica, que el agua de lluvia arrastra hasta este horizonte (capa). Se encuentran las arenas, limos, arcillas y cascajos.
- *Horizonte C*: es el material principal a partir del cual se desarrollaron las capas superiores del suelo. Consiste principalmente en rocas más o menos fragmentadas por la alteración mecánica y la química (la alteración química es casi inexistente ya que en las primeras etapas de formación de un suelo no suele existir colonización orgánica), pero en él aún puede reconocerse las características originales de la roca madre. En esta capa se encuentran las piedras y rocas.
- *Horizonte R*: Este es el lecho de roca (roca madre) y se encuentra varios metros bajo la superficie. El lecho de roca está hecho de una masa sólida de roca.

Los horizontes mencionados anteriormente nos indican el grado de desarrollo del suelo, sin embargo, cada uno de ellos tiene distinta textura y composición, que varían en los diferentes tipos de suelo.

1.2.2. Tipos de suelos.

La tierra es una mezcla de arcilla, limo y arena, que algunas veces contiene agregados mayores como grava y piedras. Dependiendo de cuál de estos tres componentes sea el predominante podemos hablar de un suelo arcilloso, limoso o arenoso (4).

- *Suelos gravosos (grava)*: tamaño de partículas entre 8-10 cm a 4.76 mm, son muy permeables y sus componentes se observan a simple vista.

- *Suelos arenosos (arena)*: tamaño de partículas entre 4.76 – 0.074 mm, son muy permeables y sus componentes también se observan a simple vista.
- *Suelos limosos (limo)*: tamaño de partículas entre 0.074 mm y 0.002 mm, tienen capacidad de retención de agua mayor que las arenas, pero menor que las arcillas, sus componentes ya no se reconocen a simple vista.
- *Suelos arcillosos (arcilla)*: tamaño de partículas menores que 0.002 mm (inferiores a los limos), tienen alta capacidad de retención de agua. Sin embargo, este tipo de suelo es el que genera mayor problema en ingeniería civil ya que se caracterizan por la capacidad que de expansión (aumento de volumen) cuando absorben agua o retracción (disminución de volumen) cuando baja la humedad.

1.2.3. Propiedades de los suelos.

El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos (agua) y gaseosos (aire). La proporción de los componentes determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva. Para verificar que un suelo es apropiado para una aplicación específica, es necesario conocer su composición. A continuación, se mencionan dos de los ensayos estandarizados de laboratorio que son utilizados en esta Tesis para analizar la composición de un suelo.

- **Análisis Granulométrico:** es un procedimiento analítico mediante el que se separan las partículas de una muestra de suelo para determinar la distribución de los tamaños de las partículas. La distribución por tamaños puede revelar algo de lo referente a las propiedades físicas del material; en efecto, la experiencia indica que los suelos gruesos bien graduados, o sea con amplia gama de tamaños, tienen comportamiento ingenieril más favorable. Este análisis proporciona datos de las propiedades físicas del suelo como la permeabilidad, retención del agua, plasticidad, aireación, resistencia, capacidad de cambio de bases, etc.

Para este análisis se utilizan dos procedimientos en forma combinada, para suelos gruesos las partículas mayores se separan por medio de tamices con aberturas de malla estandarizadas, y luego se pesan las cantidades que han sido retenidas en cada tamiz. En cambio los agregados finos pueden diferenciarse solamente por medio de la sedimentación (5)

- **Límites de Atterberg:** La plasticidad de un suelo es debida a su contenido de partículas más finas de forma laminar. La forma laminar ejerce una influencia importante en la compresibilidad del suelo. Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg.

- Estado líquido: con las propiedades y apariencia de una suspensión;
- Estado semilíquido: con las propiedades de un fluido viscoso;
- Estado plástico: en que el suelo se comporta plásticamente;
- Estado semisólido: en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado;
- Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

Mediante ensayos se determina cuantitativamente el límite líquido (LL) y límite plástico (LP), para luego con la diferencia entre ambos obtener el índice de plasticidad ($PI=LL-LP$). Con los valores antes mencionados a través de tablas se puede determinar el tipo de suelo que se ensayó.

- **Compresión:** La resistencia a la compresión de elementos de construcción secos hechos de tierra depende no solo de la cantidad y tipo de arcilla sino también de la distribución granulométrica del limo, arena y agregados mayores, así como del método de preparación y compactación. La resistencia admisible a la compresión en elementos de construcción de tierra según la DIN 18954 es de 3 a 5 kg/cm². La resistencia a compresión puede ser medida aplicando una carga vertical a una probeta de cierta geometría. La carga puede ser aplicada mediante una prensa de compresión.

1.3. Técnicas constructivas con suelo.

Las técnicas de construcción en tierra son muy variadas, se puede mencionar doce métodos: excavar, cortar, rellenar, cubrir, comprimir, conformar, apilar, moldear, extruir, revestir, empastar y verter. Estas son clasificadas en función de la plasticidad del material tierra respecto a su aplicación en obra: seco, húmedo, plástico, viscoso o incluso líquido.

Los sistemas nativos de constructivos con tierra nacieron de la agrupación de varias técnicas. A lo largo de la historia los sistemas nativos se fueron fusionando con las locales hasta llegar a la forma de construcción más apropiada para el entorno y el tipo de terreno de cada lugar. La elección de cada sistema constructivo está estrechamente ligado al clima, al tipo de suelo, a las herramientas y materiales disponibles del lugar, y la cultura constructiva de cada región.

Hoy en día, existen un sinnúmero de variantes en estas técnicas constructivas. Sin embargo, mencionaremos las más reconocidas agrupándolas en:

- Albañilería: Adobe y Bloque de Tierra Comprimida (BTC)
- Muros monolíticos: Tapial y Cob
- Técnicas mixtas: Quincha

A continuación se muestra una rueda conocida como rueda de las técnicas como resumen de lo mencionado (**Figura 2**)

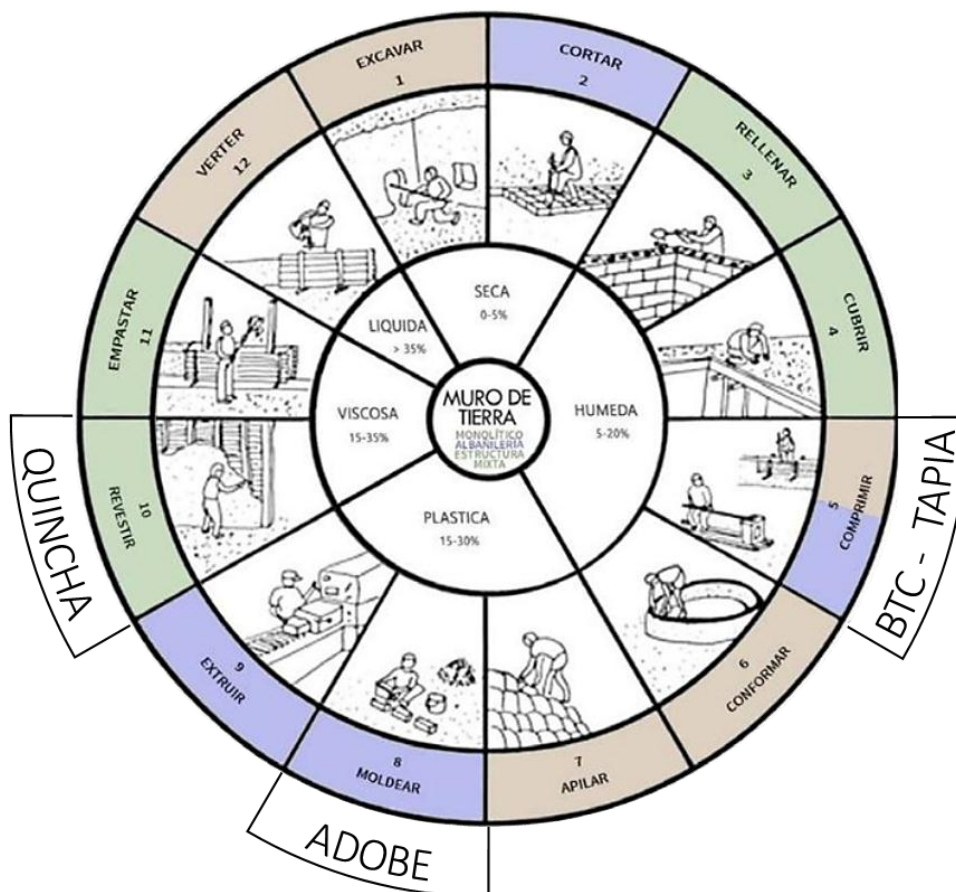


Figura 2. Rueda de técnicas: Plasticidad del material, técnicas y sistemas constructivos.

Una de las técnicas de construcción más antigua y empleada hasta hoy es la de albañilería de adobe. En general, los adobes se hacen por colocación manual del barro, compuesto de tierra y agua, dentro de un molde que descansa sobre una superficie plana, procediéndose al desmolde inmediato. Los antiguos constructores aprendieron a usar la tierra, mejorando sus propiedades con la adición de otros materiales y protegiendo las superficies exteriores de la acción de agentes degradantes. Empíricamente, la impermeabilidad del adobe fue mejorada por la adición de asfalto natural a la mezcla de suelo y agua, la contracción se redujo con la adición de paja y los suelos fueron mezclados para obtenerse una tierra con granulometría más adecuada.

Otra técnica, conocida como tapia corresponde a las paredes monolíticas construidas en el propio sitio. Ella consiste en la compresión de capas de tierra húmeda dentro de grandes moldes (taipal o tapial), generalmente de madera, que se van reubicando a medida que avanza la construcción. Para garantizar el plomo y mantener constante el espesor de la pared se utilizan guías verticales que incluso facilitan el desplazamiento de los moldes.

En resumen, la técnica mixta consiste en una estructura portante de madera unida por entramados reticulados de madera o palos y cubiertos con una mezcla plástica de tierra. En general, los efectos muy pronunciados de la contracción de esta mezcla requieren un revestimiento después del secado.

Al comparar las técnicas de construcción utilizadas en la antigüedad y las empleadas hoy, se constata que ellas han evolucionado, pasando por cambios y adaptaciones propias del conocimiento adquirido a través de investigaciones, prácticas y del medio socio-

económico y cultural donde se ejecutan. Así es que la fuerza del trabajo del hombre va siendo reemplazada por equipos y herramientas, a la vez que se introducen otros materiales regionales y algunos materiales sintéticos.

Los estudios para estabilización de la tierra con aglomerantes, sobre todo con cemento que comenzó en los años '30 del siglo XX, abrieron un abanico de posibilidades para la construcción con el nuevo material, que ganó fuerza con el desarrollo de una prensa manual muy simple para fabricación de bloques, conocida por el nombre de CINVARAM, y creando la posibilidad de la industrialización de la construcción. Así surgió el mampuesto identificado como BTC (bloques de tierra comprimida, por lo general estabilizada con cemento), cuyo proceso de fabricación permite aplicar un sistema de control de calidad eficaz y asegura la uniformidad de las dimensiones del bloque.

En la actualidad, existen iniciativas en todos los países iberoamericanos para desarrollar y publicar normas técnicas para la construcción de edificios en tierra. Además de las normas brasileñas para BTC con cemento, así como la revisión y ampliación de las normas de adobe del Perú, se publicaron la norma técnica colombiana BTC con cemento y la norma española para BTC.

• **Adobe:** El adobe es un componente básico que se pre-fabrica con una mezcla en estado plástico, moldeable sin necesidad de compresión, con auxilio de moldes, y que una vez seco se emplea como mampuesto trabado, unido por un mortero generalmente con una mezcla muy parecida a la del adobe, para paredes autoportantes, paredes portantes, arcos, bóvedas y cúpulas. Se puede utilizar generando formas ortogonales y curvas, siempre y cuando se respete su calidad resistente a compresión.

Para fabricar adobes es recomendable el uso de tierra areno-arcillosa con poco limo. Si la tierra tiene mucha arcilla, aumenta el riesgo de fisuración al secarse; si tiene demasiada arena o limo, puede carecer de cohesión interna adecuada y desgranar fácilmente, además de que disminuye su resistencia a compresión. Dependiendo de sus características, se hace necesario agregar otros materiales, como las adiciones o los estabilizantes.

Las adiciones habituales que se emplean son:

- Fibras vegetales, estiércol y/o pelos de animal (para evitar la fisuración por secado).
- Arena (para evitar la fisuración por secado cuando la tierra es muy arcillosa).
- Emulsiones asfálticas (para agregar un grado de impermeabilidad al adobe).

También es posible el agregado de aglomerantes tales como el cemento, la cal y el yeso, para mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión o su estabilidad ante la humedad.

• **BTC:** El bloque de tierra comprimida, generalmente llamado BTC, es el elemento de la albañilería hecho con tierra (suelo) compactada en el moldeo por compresión o prensado, seguido por el desmolde inmediato. Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del BTC como su resistencia a la compresión y a la acción abrasiva del viento, impermeabilidad, durabilidad, 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.

Para la fabricación de BTC con adición de cemento, se recomienda el uso de la tierra limosa o limo-arenosa, siendo ideal la elección de tierras con las siguientes características:

- 100% que pase por el tamiz de 4.8 mm;
- 50% a 95% de material limo-arenoso heterogéneo (o granulometría continua, compuesta de arena gruesa, media y fina);
- $LL \leq 45\%$ y $IP \leq 18\%$, pues los suelos con índices de plasticidad y límites de liquidez elevados son más difíciles de estabilizar. Sin embargo, la plasticidad es necesaria para transmitir la cohesión suficiente a los bloques producidos para que puedan ser manipulados.

• **Tapia:** La técnica de tapia es la de una pared de tierra compactada, tradicionalmente conocida como tierra apisonada o simplemente tapia. Se caracteriza principalmente como elemento estructural moldeado in situ con elevada resistencia a la compresión y baja resistencia a la tracción. Por eso, se debe evitar que la pared de tapia reciba cargas horizontales.

Las principales características físicas de la tierra para su uso en la tapia son la distribución granulométrica, los índices de plasticidad y la curva de compactación. Ellos indican la necesidad de corrección granulométrica, término que se usa cuando es necesaria la mezcla de tierras de diferentes características, que ayudan a decidir sobre el uso adecuado de aglomerante y determinan la humedad adecuada de compactación. Genéricamente, los suelos más adecuados para la tapia son los arenosos. Para la ejecución de una pared de paneles monolíticos de suelo-cemento, especifica los suelos con contenido de arena entre 45% y 90%, contenido de limo y de arcilla entre 10% y 55%, un límite líquido $\leq 45\%$, un índice de plasticidad $\leq 18\%$.

• **Quincha:** pertenece al grupo de técnicas mixtas. Estás son técnicas que incluyen varios materiales:

- El sistema estructural es realizado con múltiples materiales de origen vegetal (madera o bambú) o industrial que son el cuerpo o el esqueleto que lo sostiene.
- La tierra o el barro que cumple en algunos de estos sistemas la función de relleno y de revestimiento, potenciando una de las principales propiedades: dar respuesta a condiciones ambientales en un comportamiento acústico y térmico.

La composición granulométrica de las tierras adecuadas para el relleno de técnicas mixtas debe contener granos finos ($<30\%$) y un porcentaje de arcilla suficiente para que den cierta plasticidad a la mezcla (20%), una buena adherencia con las fibras y el pegamiento con el entramado. El límite líquido debe ser $\leq 50\%$ y un IP entre 4/11%. (6)

1.4. Marlo de maíz.

El raquis del maíz es el corazón de la mazorca del maíz (**Figura 3**). A lo largo de los países hispanohablantes recibe nombres diferentes: olote, chócolo, marlo, tusa, zuro, bacal o coronta. Particularmente, en nuestra región es conocido como marlo de maíz.



Figura 3. Marlo de maíz en estado natural: **a)** con granos de maíz-, **b)** Marlo pelado.

Este elemento es un residuo muy abundante en Venado Tuerto, Santa Fe y en la región. Esto se da debido a que la producción de semilla de maíz es la principal actividad económica de la ciudad siendo sede de tres semilleros importantes. Una vez obtenido los granos de maíz tanto la chala como el marlo son desechado produciendo un volumen considerable.

Como dato aproximado se puede mencionar que una empresa arroja 2700 tn de marlo por campaña. La campaña para este rubro se le denomina al tiempo de máxima producción. En nuestra zona el periodo de la misma dura 2 o 3 meses ubicados entre los meses de enero y abril. Sin embargo, como ya se ha mencionado, nuestra ciudad posee tres de estos productores por lo que aproximadamente se puede decir que la cantidad de dato se triplicaría.

En la actualidad, un depósito final para este elemento son los campos que crían animales, sirviendo de complemento para su dieta.

1.5. Objetivo general.

Como objetivo de la Tesis se busca encontrar un material que incluya a la tierra como material predominante minorando la cantidad de aglomerantes comerciales en su composición, sin perder de vista las características buscadas (resistencia necesaria, baja densidad, etc.). Además reducir la huella ambiental generando un material que requiera de poca energía para su generación y que pueda reintegrarse amigablemente al ambiente una vez terminada su vida útil. Que sea incorporado como elemento constructivo básico principalmente en sistemas artesanales de fabricación, es decir sin la necesidad del empleo de maquinarias específicas ni mano de obra especializada.

Finalmente, desde el punto de vista socio económico se pretende llegar con una solución de bajo costo para diferentes sectores, especialmente los de medios rurales o suburbanos que cuentan con el recurso de la materia prima al alcance de la mano.

1.5.1. *Objetivos específicos.*

Para lograr el objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

a) **Reemplazar el agregado grueso comercial por un residuo vegetal:** se fabricará una pasta compuesta por tierra, cemento, agua y marlo de maíz como agregado grueso. Esto permitirá no solo contribuir con el ambiente sino también abaratar costos.

b) **Caracterizar física y mecánicamente la mezcla:** se realizarán distintas mezclas variando su dosificación y luego serán ensayadas a compresión para determinar su resistencia. También se tendrá en cuenta la relación entre la cantidad de agregado grueso vs la densidad y trabajabilidad.

c) **Plantear usos constructivos:** con resultados preliminares se propondrán distintas aplicaciones en el ámbito constructivo. Teniendo en cuenta exigencias de las Normas.

d) **Optimización de la dosificación:** concentrándonos en los usos planteados se analizarán las dosificaciones más favorables teniendo en cuenta propiedades como resistencia, densidad y costos.

e) **Difusión de los resultados:** contribuir en el desarrollo y transferencia de la tecnología de la arquitectura y construcción con tierra. Difundir nuestros resultados en diferentes eventos nacionales e internacionales, así como también publicarlos en revistas reconocidas por la comunidad científica.

Capítulo 2

2. Estado del arte.

El desarrollo de las técnicas constructivas con tierra en los últimos años desde un enfoque científico fue significativo. Consecuentemente, la adición de materiales orgánicos y otros materiales locales en el apoyo a la albañilería para fabricar y mejorar los morteros, sobretodo en resistencia y durabilidad va en aumento. Pese a esto, muchas de las mejoras que se basan en la adición de fibras vegetales se limitan a la paja, siendo escaso la investigación de otros tipos de agregado vegetal. A continuación, se citan los trabajos más relevantes del área.

La Mg Marta Amorós García publicó en el año 2011 su Tesis de maestría titulada: “Desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda, con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal”. En base al estudio realizado por las universidades de Sevilla y Glasgow sobre ladrillos de tierra cruda, lana y algas (Construction and Building Materials, Volume 24, Issue 8, August 2010, Pages 1462-1468), se pretende trabajar en el desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda, no tóxico y ecológico, al cual se le incorporarán residuos no valorizables de origen vegetal, disponibles en España, que aporten funciones aglomerantes y estructurales. En este caso, se utilizará el alga *Gelidium sesquipedale* procedente de los residuos del proceso de extracción del agar-agar. Los ensayos realizados indican que la adición de las algas reduce la resistencia a flexión hasta un 20% en el caso más favorable (de 1,872 a 1,494 N/mm²), pero sólo un 5% de su resistencia a compresión inicial (de 2,544 a 2,395). Como se trata de dar salida a un residuo no valorizable, esta disminución de su resistencia a compresión es aceptable ya que no afecta críticamente a la función principal del ladrillo, que es el trabajo a compresión.

CANTERO, Nadia y CASTRO M. del Carme publicaron en la JIT 2017: “Casarilla de algodón. Su uso en Tierra Alivianada”. Este trabajo aborda el uso de desechos provenientes de la industria agrícola para la utilización en el ámbito de la construcción. La investigación se basa en procedimientos utilizados en anteriores trabajos de tierra alivianada, que centran su atención en la formación de barbotina, los dosajes y los ensayos necesarios para su análisis integral. Se analiza la posibilidad de confección de un material que permitiera solucionar problemas tanto ambientales como habitacionales. Para el grado de avance alcanzado puede concluirse que el material obtenido es aislante, liviano y con baja resistencia a los esfuerzos de compresión (no portante), motivo por el cual puede concluirse que sus mayores posibilidades de utilización serían como elemento aislante.

Capítulo 3

3. Metodología.

3.1. Materia Prima.

3.1.1. Suelo.

El suelo utilizado para realizar las muestras provino de excavaciones de nuestra ciudad. Como hemos dicho antes se debe conocer las propiedades mecánicas del suelo regional. La identificación del mismo es, en rigor, encasillarlo dentro de un grupo en un sistema previo de clasificación permitiéndonos conocer, en forma cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas del tipo de suelo. En caso concreto de este trabajo, es colocarlo en alguno de los grupos mencionados dentro del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) (7). Este sistema se basa en conocer el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura y el límite líquido e índice de plasticidad. Los primeros cinco datos se obtienen a partir de un análisis granulométrico.

El método SUCS presenta diversa nomenclatura; para suelos granulares, las siglas son G (grava), S (arena), W (bien graduada) y P (mal graduada). Para suelos finos la nomenclatura es M (limo), C (arcilla), H (alta compresibilidad) y L (baja compresibilidad). Y para los suelos orgánicos la sigla es Pt (turba). A continuación, se describe el procedimiento del método:

- a) Descartar que el suelo sea un Pt.
- b) Determinar si el suelo es fino o granular por tamizado:
 - I). Granular:
 - i). Determinar si es grava o arena;
 - ii). Determinar si contiene M o C es decir si está limpia, intermedia o sucia;
 - iii). Determinar el nombre del grupo.
 - II). Fino: determinar directamente la clasificación por medio de la carta de plasticidad, conociendo el límite líquido (LL) y el índice de plasticidad (IP)
 - i). Determinar si el suelo es inorgánico (M o C) u orgánico (O);
 - ii). Determinar el nombre de grupo.

Como resumen de lo anterior y para determinar el nombre del grupo se utiliza el cuadro de la **Figura 4**.

Divisiones principales		Símb.	Nombre clásico	Método de identificación en campo excluyendo partículas mayores de 75 mm	Clasificación de laboratorio		
1	2	3	4	5	6		
Suelos de grano grueso Más de la mitad del material es mayor que el t. n°200 Para clasificación visual el tamiz n°4 equivale a simple vista	GRAVAS Más de la mitad de los gruesos es 5mm Para clasificación visual el tamiz n°4 equivale a 5 mm	Gravas limpias (poco o ningún fino)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino	Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos		
			GP	Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino	Predomina un tamaño o una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios		
		Gravas con finos (apreciable cantidad)	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	Finos no plásticos o con baja plasticidad (para procedimiento de identificación ver grupo ML)		
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Finos plásticos (para procedimiento de identificación ver grupo CL)		
		Arenas limpias (poco o ningún fino)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco o ningún fino	Amplio margen de variación del grano y cantidades importantes de todos los tamaños intermedios de los granos		
			SP	Arenas pobremente graduadas, arenas con grava, poco o ningún fino	Predomina un tamaño ó una serie de tamaños faltando algunos tamaños intermedios		
	Arenas con finos (apreciable cantidad)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Finos no plásticos o con baja plasticidad (para procedimiento de identificación ver grupo ML)			
		SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Finos plásticos (para procedimiento de identificación ver grupo CL)			
	Suelos de grano fino Más de la mitad del material es menor que el t. n°200 El tamaño del tamiz n°200 es aproximadamente la menor partícula visible a simple vista	Limos y arcillas. Límite líquido menor que 50	ML	Limos inorgánicos de baja compresibilidad	Ninguna a ligera	Rápida a lenta	Ninguna
			CL	Arcillas inorgánicas de baja a media compresibilidad arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas	Media a alta	Ninguna a muy lenta	Media
			OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja compresibilidad	Ligera a media	Lenta	Ligera
		Limos y arcillas. Límite líquido mayores que 50	MH	Limos inorgánicos de alta compresibilidad	Ligera a media	Lenta a ninguna	Ligera a media
CH			Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad	Alta a muy alta	Ninguna	Alta	
OH			Arcillas y limos orgánicos de media a alta compresibilidad.	Media a alta	Ninguna a muy lenta	Ligera a media	
Suelos altamente orgánicos		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Fácilmente identificable por el color, olor, tacto esponjoso y a menudo textura fibrosa			

Usar la curva granulométrica para identificar las fracciones Determinar los % de grava y arena después de la curva granulométrica y después el % de finos(fracción menor que el tamiz n°200)	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $1 < Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$	
	Los límites de Atterberg bajo la línea A o IP < 4	Los límites que caen en la zona rayada, con IP entre 4 y 7, son casos límite que requieren doble símbolo
	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $1 < Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$	
	Los límites de Atterberg bajo la línea A o IP < 4	Los límites que caen en la zona rayada, con IP entre 4 y 7, son casos límite que requieren doble símbolo

Método de identificación en la fracción menor de tamiz n°40 (0.4 mm)		
Resistencia a la rotura	Dilatancia	Plasticidad

Carta de plasticidad

Figura 4. Cuadro resumen del método SUCS.

En nuestro caso partimos de un suelo de partículas finas ya que previamente se filtró a través del tamiz n° 4 (5 mm). Seguidamente como solicita el método se llevaron a cabo los tres ensayos principales: tamizado vía húmeda (8), límite líquido (9) y límite plástico (10) los cuales se detallan a continuación. Lo mencionado se realizó siguiendo la Norma de Vialidad Nacional.

- a) **Tamizado vía húmeda:** por tratarse de un suelo fino se tomó como muestra 1000 g del suelo de interés. Por cuarteo se dividió en dos porciones de las cuales una de ellas se destinó para este ensayo y la restante los ensayos ya mencionados.
- I). Se apartó 200 g y se secó a estufa a 105 – 110 °C hasta peso constante;
 - II). Se vertió el contenido del recipiente sobre un tamiz IRAM 75 micrómetros (n° 200) y se lavó cuidadosamente con un chorro de agua no muy fuerte hasta que se observó que el agua que escurre del tamiz sale limpia;
 - III). Se recogió en una cápsula el material que quedó en el tamiz IRAM 75 micrómetros (n° 200) y se secó en estufa a 105 – 110° C hasta peso constante;
 - IV). Una vez seco el material retenido, se realizó el pasaje y se tabularon los datos (**Tabla I**):

Tabla I. Tamizado vía húmeda de suelo fino.

Punto n°	Peso de muestra (P _{SH}) [g]	Tamiz n°	Peso de molde (P _F) [g]	P _F + Suelo seco (P _{SS}) [g]	Pasante tamiz n° 200 [g]	Pasante [%]
1	200.7±0.2	200	10.6±0.3	44.1±0.3	167.2±0.2	83.3

- b) **Límite líquido (LL):** en este ensayo se manipuló un aparato conocido como cuchara de Casagrande o copa de Casagrande (**Figura 5**). La misma previamente se verificó que esté en buenas condiciones de funcionamiento, es decir: que el eje sobre el que gira la cápsula no esté desgastado hasta el punto de permitir desplazamientos laterales de la misma; que los tornillos que conectan la cápsula al brazo estén apretados y que la superficie de la cápsula no presente excesivo desgaste.

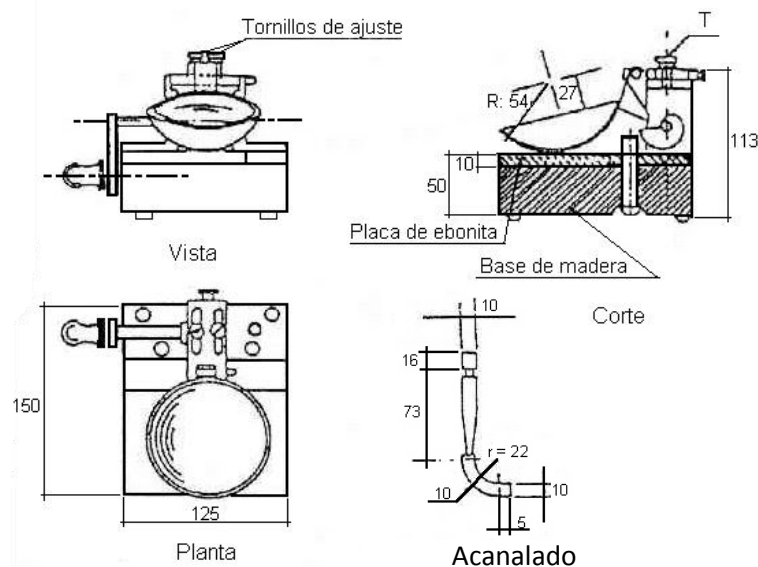


Figura 5. Aparato semiautomático para determinar el límite líquido: Copa de Casagrande y acanalador (9).

Para la muestra utilizada se tomó de la fracción del material que se dejó aparte en el ensayo anterior y que pasó el tamiz n° 40.

- I). Se tomó 500 g y se secó a estufa a 105 – 110 °C hasta peso constante;
- II). Se apartaron 60 g y se colocó en una cápsula de goma;
- III). Se humedeció con agua potable de buena calidad, dejándose reposar durante 1 hora;
- IV). Posteriormente se continuó agregando agua en pequeñas cantidades mezclando cuidadosamente con la espátula procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo en especial cuidado de deshacer todos los grumos que se iban formando;
- V). Cuando notamos que la pasta adquirió una consistencia tal que, al ser dividida en dos porciones, éstas comiencen a fluir cuando se golpeaba la cápsula contra la palma de la mano, se transfirió una porción de la misma a la cápsula de bronce del aparato distribuyéndola como lo indica la **Figura 6**, de manera que el espesor en el centro sea aproximadamente de 1 cm.

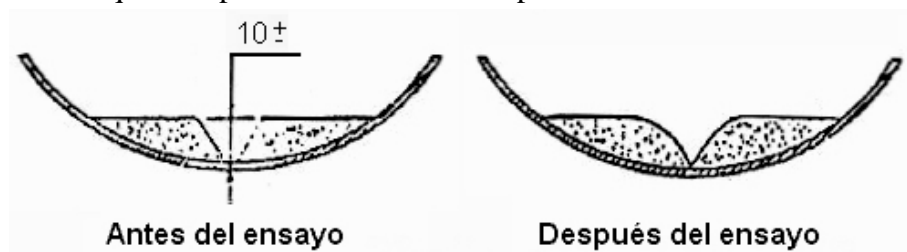


Figura 6. Colocación de la pasta en la cápsula (9).

- VI). Con el acanalador se generó una muesca de ancho 2 mm procurando dejar el fondo de la cápsula limpia. La muesca debe seguir una dirección normal al eje de rotación en su punto medio (**Figura 6**);
- VII). Se accionó la manivela a razón de dos vueltas por segundo, contando a su vez el número de golpes necesarios para que por fluencia se cierren los bordes inferiores de la muesca, en una longitud de aproximadamente 12 mm;
- VIII). Logrado esto, se extrajo una porción de pasta, de peso más o menos 10 gr. de la parte en la que se produjo la unión, y se colocó en el pesa filtro previamente tarado. Se anotaron los datos necesarios: el peso del pesa filtro, el número de golpes realizados y el peso de la porción tomada;
- IX). Se repitieron las operaciones cuatro veces más, con contenidos crecientes de agua con el fin de lograr distintos números de golpes requeridos para el cierre de la muesca: dos menores y uno mayor de 25 golpes;
- X). La pasta colocada en el pesa filtro para cada operación se secó en la estufa a temperatura de 105° a 110° C hasta peso constante;
- XI). Finalmente se calcularon los valores de humedad de cada porción y se tabularon los resultados (**Tabla II**).

Nota: el contenido de humedad se calcula con la siguiente fórmula

$$w = \left(\frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \right) \cdot 100 = \left(\frac{M_w}{M_s} \right) \cdot 100; \quad [\%] \quad (\text{E } 1)$$

donde:

w = contenido de humedad [%];

$P_F + P_{SH}$ = peso de recipiente y la muestra húmeda [g];

$P_F + P_{SS}$ = peso del recipiente y el peso de la muestra secado [g];

P_F = peso del recipiente [g];

P_w = peso del agua [g];

Tabla II. Límite líquido del suelo estudiado.

Punto n°	n° de golpes	Peso de molde (P_F) [g]	$P_F + P_{SH}$ [g]	$P_F + P_{SS}$ [g]	Peso de agua (P_w) [g]	Humedad (W) [%]
1	33	2.1±0.1	32.2±0.2	26.2±0.3	6.0±0.3	24.8
2	22	2.3±0.1	33.8±0.3	27.2±0.1	6.6±0.2	26.4
3	10	2.0±0.1	35.3±0.3	27.9±0.5	7.4±0.3	28.9

Obtenido los resultados, se graficó sobre un sistema de coordenadas rectangulares, en abscisas el logaritmo del número de golpes, y en ordenadas el porcentaje de humedad. Ubicados los puntos, se trazó una línea de ajuste recta. Se dibujó una paralela al eje de las abscisas en el valor de 25 golpes, donde intersecta a la línea de ajuste de los puntos, se baja una perpendicular a la primera hasta el eje de las ordenadas y se leyó el valor del Límite Líquido buscado (**Figura 7**).

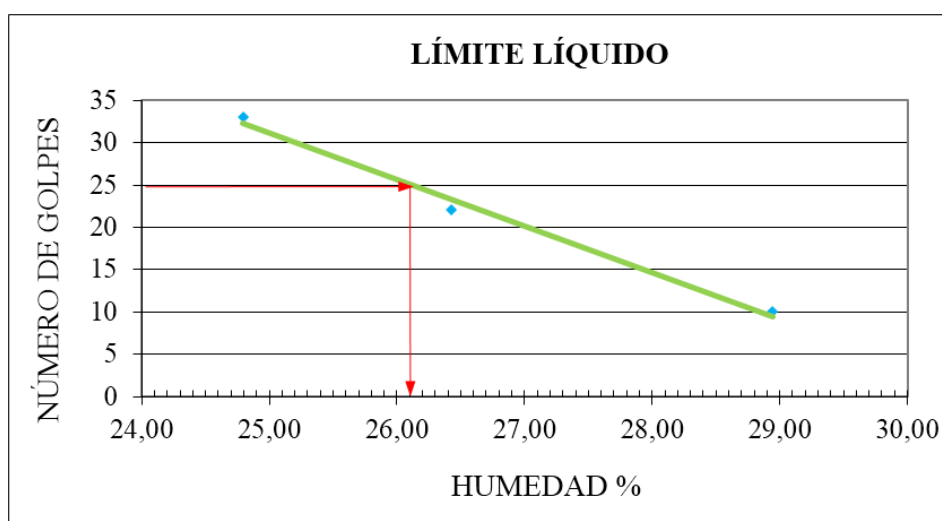


Figura 7. Grafico para la determinación del límite líquido.

Como podemos observar la muestra de suelo analizada tiene un límite líquido igual a 26.1 %.

- c) **Límite plástico (LP):** para la muestra utilizada se tomó de la fracción del material restante y que pasó el tamiz n° 40. El ensayo se llevó a cabo siguiendo los pasos que se mencionan a continuación:
- I). Se tomaron 15 a 20 g del material obtenido y se colocaron en una cápsula de goma;
 - II). Se humedeció con agua potable de buena calidad, dejándolo reposar durante 1 hora.

- III). Posteriormente se continuó agregando agua en pequeñas cantidades mezclando cuidadosamente con la espátula procurando obtener una distribución homogénea de la humedad y teniendo en especial cuidado de deshacer todos los grumos que se fueron formando;
- IV). Se continuó el mezclado hasta obtener que la pasta presente una consistencia plástica que permitiera moldear pequeñas esferas sin adherirse a las manos;
- V). Una porción de la parte así preparada se hizo rodar por la palma de la mano sobre láminas de vidrio dándole la forma de pequeños cilindros;
- VI). La presión aplicada para rodar la pasta debe ser suficiente para obtener que las barritas cilíndricas mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud.
- VII). La velocidad con la que se manipuló la pasta fue tal de obtener de 80 a 90 impulsos por minuto, entendiéndose como un impulso un movimiento completo de la mano hacia delante y atrás. Como solicita la norma (10);
- VIII). Se comenzó a realizar los cilindros de prueba, se debe lograr realizar cilindros de 3 mm de diámetro sin que se agrieten, de lo contrario se junta todo y se le incorpora más agua;
- IX). Se encontró el punto donde los cilindros llegaban al diámetro mínimo y no presentaban fisuras o signos de desmenuzamiento;
- X). Se armaron varias barritas y se finalizó cuando las mismas comenzaron a fisurarse al alcanzar los 3 mm de diámetro;
- XI). Una vez obtenido este estado se colocaron las muestras en un pesa filtro, tapándolo de inmediato para evitar evaporación; se pesaron y se secaron en estufa a 105° C – 110° C hasta peso constante;
- XII). Finalmente se calculó la humedad (**E1**) y se tabularon los resultados **Tabla III**.

Tabla III. Límite plástico de la muestra de suelo.

Punto n°	P _F [g]	P _F + P _{SH} [g]	P _F + P _{SS} [g]	P _w [g]	W [%]
1	20.1±0.1	25.8±0.3	24.7±0.3	1.1±0.1	22.8
2	21.6±0.2	25.0±0.1	24.4±0.4	0.6±0.1	21.7
				Promedio	22.3

Realizados los últimos dos ensayos descriptos en los ítems anteriores, podemos calcular el Índice de Plasticidad de nuestro tipo de suelo. Éste índice es la diferencia numérica entre los valores del límite líquido y el límite plástico de un mismo suelo. Es decir:

$$I_p = L_l - L_p = 26.1 - 22.3 = 3.8 \quad [\%]$$

A continuación se muestra una tabla resumen con los valores necesarios para la asignación de símbolos de grupo (**Tabla IV**).

Tabla IV. Tabla resumen de parámetros del suelo.

Límite líquido	LL	26.1 %
Límite plástico	LP	22.3 %
Índice de plasticidad	IP	3.8 %
Pasante tamiz n° 200	F	83.3 %

Basándonos en los valores obtenidos y en el cuadro de la **Figura 4**, el suelo de nuestra ciudad es un tipo limo inorgánico de baja compresibilidad (ML).

3.1.2. Marlo de maíz.

El marlo de maíz natural posee una geometría cilíndrica con un diámetro promedio de 25 mm y una longitud de 95mm. Los residuos de marlo de maíz utilizados en este trabajo poseen una longitud menor, ya que sufren un proceso de trituración durante la producción de semilla. Dicha trituración no genera una granulometría homogénea. La **Figura 8** muestra una fotografía de este material junto a una escala para caracterizar la geometría del marlo como residuo agrícola.

**Figura 8.** Marlo de maíz

Con la finalidad de establecer los tamaños de las partículas y conocer el porcentaje de ellas y rango de tamaños de nuestro agregado grueso vegetal se realizó el ensayo granulométrico por tamizado. Inicialmente, se tomó una muestra del material de 2624 g aproximadamente. El mismo en 10 etapas para evitar la obstrucción de los tamices por los trozos de marlos mayores evitando así el paso de los menores. Teniendo un conocimiento a simple vista de los tamaños aproximados se determinó la serie de mallas a colocar. Se procedió a realizar el ensayo con los siguientes pasos:

- a) Se pesó la muestra de marlo total;

- b) Se obtuvo la humedad inicial del agregado mediante el método de la norma IRAM 10519 (1970), lo que arrojó una humedad inicial de 15.13%;
- c) Luego se dividió en partes de aproximadamente 200 g para poder realizar el ensayo;
- d) Se formó la torre de tamices acomodando de menor a mayor la apertura del mallado: n°40, n° 10, n° 4, 3/8", 1/2", 3/4" y 1", respectivamente;
- e) Se colocó la primera tanda de la muestra en la parte superior de la torre de peso conocido;
- f) Se llevó el conjunto al vibrador mecánico accionándolo por 15 minutos (**Figura 9**);
- g) Transcurrido el tiempo, se desarmó y se pesó por tamiz la masa retenida, volcando el agregado en un recipiente de peso conocido;

Nota: Al retirar cada porción del tamiz que le corresponde, se debe tener el cuidado de dejar limpias las mallas para no perder material, para esto se utiliza el cepillo y la brocha

- h) Se registraron los datos y se repitió el ensayo nuevamente, pasando todas las partes divididas.



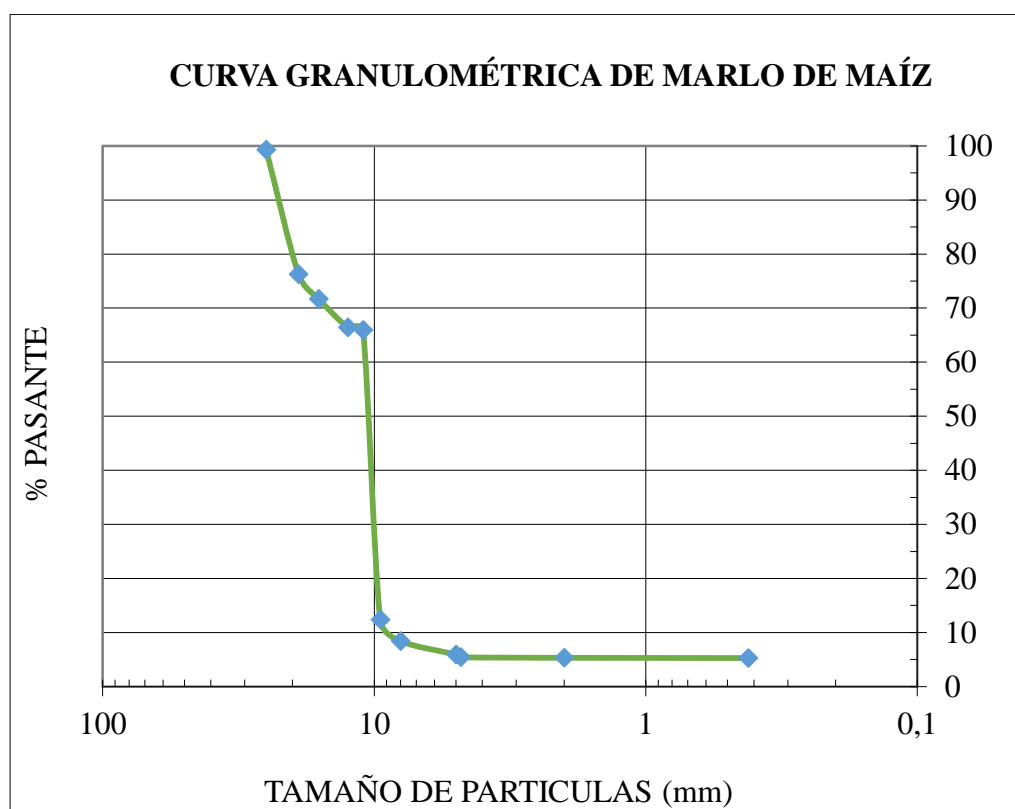
Figura 9. Equipo utilizado para el ensayo granulométrico.

En la **Tabla V** se muestran los resultados.

Tabla V. Tamaño de partículas del agregado grueso.

Peso total de la muestra [g] = 2624.8				
Tamiz IRAM [pg]	Tamaño [mm]	Pasa [g]	Retiene [g]	Pasa [%]
1 "	25	2603.0±0.3	21.8±0.3	99.2
3/4 "	19	1921.3±0.3	681.8±0.2	73.2
1/2 "	12.5	1765.1±0.2	156.2±0.2	67.2
3/8 "	9.5	175.5±0.4	1589.5±0.3	6.7
4	4.8	161.2±0.2	14.3±0.1	6.1
10	2	157.7±0.5	3.3±0.1	6.0
40	0.42	156.6±0.1	1.3±0.1	6.0
Fondo			156.6±0.3	

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva en la **Figura 10**, donde el porcentaje que pasa es graficado en las ordenadas y el diámetro de las partículas en las abscisas con escala logarítmica.

**Figura 10.** Curva granulométrica de marlo.

Si observamos la curva se puede ver que no se trata de un agregado grueso vegetal no uniforme ya que la curva que lo representa es particularmente vertical, revelando un contenido del 60 % del material con un tamaño de alrededor de 10 mm.

3.2. Proceso experimental.

3.2.1. Preparado del material compuesto.

En esta etapa se comenzó con el estudio de mezclas con distintas dosificaciones. La dosificación implica establecer las proporciones de los materiales involucrados, a fin de obtener cambios en las propiedades de interés (resistencia y densidad). Particularmente la regulación de la cantidad de los materiales se realizó mediante el sistema de dosificación volumétrica. Este sistema no está en función de la masa sino exclusivamente del volumen por lo que se tuvo atención en que los elementos de volumen estén siempre rellenos de manera uniforme.

Como ya hemos mencionado, los materiales involucrados son: tierra, cemento, marlo de maíz y agua. En las dosificaciones que se plantearon para el desarrollo de esta Tesis, se mantuvieron constante las proporciones volumétricas del suelo utilizado (ML) y del cemento comercial. No obstante, las variaciones se generaron en las cantidades de marlo de maíz y agua. Estos cambios se ven reflejados en propiedades tales como la trabajabilidad, resistencia mecánica y densidad del compuesto resultante.

La fabricación de las pastas se realizó a escala laboratorio replicables en obra. Es por eso que el mezclado se realizó a través de una hormigonera tradicional. Para la confección de las mezclas se definieron una serie de pasos numerados a continuación para uniformizar el procedimiento. También se menciona el instrumental utilizado.

a) Instrumental (**Figura 11**):

- I). Tamiz IRAM n° 4
- II). Hormigonera de 150 l con motor de 1 HP;
- III). Recipiente de volumen conocido: jarra medidora convencional;
- IV). Cuchara de metal tipo albañil;

b) Procedimiento (**Figura 12**):

- I). Se hizo pasar la tierra a utilizar por un tamiz IRAM n° 4 eliminando cascotes;
- II). Se colocaron las partes volumétricas de tierra y cemento en la hormigonera;
- III). Se tapó la boca de la misma con un film de polietileno para evitar la volatilización de los materiales;
- IV). Se encendió la maquina por 5 min con el fin de unificar el material fino;
- V). Se incorporó el agregado grueso vegetal, es decir marlo de maíz;
- VI). Se encendió la mezcladora y se fue volcando parcialmente el agua;
- VII). Se dejó mezclando durante 10 min una vez que todos los elementos estaban juntos;
- VIII). Se volcó la pasta formada en una bandeja de metal para evitar la absorción del agua de mezclado;



Figura 11. Instrumental necesario en laboratorio para la fabricación de las mezclas.



Figura 12. Esquema del procedimiento de fabricación.

Obtenida la mezcla se procedió a determinar la trabajabilidad mediante la medición del asentamiento. La trabajabilidad de una mezcla se puede definir como el esfuerzo requerido para manipular una cantidad de mezcla fresca. El término manipulación hace referencia a una serie de acciones: transportación, colocación, compactación (en el caso de que se requiera), y una terminación sin un riesgo apreciable de segregación. Sin embargo, la trabajabilidad es una propiedad compuesta y como tal, no puede ser

determinada cuantitativamente por un solo parámetro, sino que se involucra la cohesividad y la consistencia del compuesto es estado fresco. Estos dos últimos parámetros deben ser controlados para lograr la trabajabilidad deseada. El primero de estos, se logra con una selección apropiada de las proporciones del mezclado, lo cual se buscó con variaciones volumétricas de los materiales ya mencionados. Logrado esto, la trabajabilidad se obtiene contralando la consistencia de la mezcla.

En la consistencia influyen diferentes factores, en especial la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo y forma del agregado grueso y su granulometría. El ensayo que se utilizó para la determinación de este parámetro es el Cono de Abrams, utilizado principalmente en mezclas de hormigón pobre.

El ensayo de Cono de Abrams se realizó según la Norma IRAM 1536/48 (11). Se utilizaron los elementos solicitados por la misma y se siguieron los pasos descriptos a continuación:

a) Instrumental:

- I). Molde metálico: no deformable ni atacable por la mezcla, de un espesor no menor a 1,54 mm, de forma de tronco de cono recto, de 20 cm de diámetro en la base inferior, 10 cm de diámetro en la base superior y 30 cm de altura. Posee dos agarraderas y dos soportes para asegurarnos el asiento de nuestro molde (**Figura 13**);
- II). Varilla: acero común liso de 16 mm de diámetro y 60 cm de longitud con la punta redondeada en semiesfera.

b) Procedimiento de ensayo:

- I). Se realizó la mezcla con un tipo de dosificación;
- II). Se mojó el molde y se colocó en una superficie plana, húmeda y no absorbente;
- III). Se fijó el molde a la superficie pisando los soportes que contiene;
- IV). Se procedió al llenado del mismo, el cual se realiza en tres capas de la siguiente forma:
 - i). Primera capa: se colocó la mezcla dentro del molde hasta que volumen fue tal de ocupar un tercio del mismo;
 - ii). Se compactó la capa golpeándola 25 veces con la varilla normalizada. Siguiendo la norma citada, los golpes se distribuyeron uniformemente en la superficie. Aproximadamente la mitad de los golpes se dieron cerca del perímetro con la varilla ligeramente inclinada y luego se fueron dando progresivamente golpes verticales hacia el centro. La varilla debe atravesar en todos los casos el espesor de la capa
 - iii). Segunda capa: el llenado y compactación es igual que la anterior, llenando dos tercios del volumen total del molde. La compactación realizó como pide la norma, haciendo penetrar verticalmente la varilla hasta la capa inferior;
 - iv). Tercera capa: se llenó el molde completo dejando mezcla sobrante por encima para poder luego de compactarlo, enrasarlo con la ayuda varilla, creando una superficie plana en la base superior del cono;

- V). Se retiró de inmediato el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical, con un movimiento constante hacia arriba evitando de generar movimiento lateral ni torsional;
- VI). Se midió el asentamiento en centímetros, por diferencia entre la altura del molde y la de la probeta resultante (**Figura 13**);
- VII). Finalmente se tabularon estos datos en relación a la dosificación de la mezcla medida.

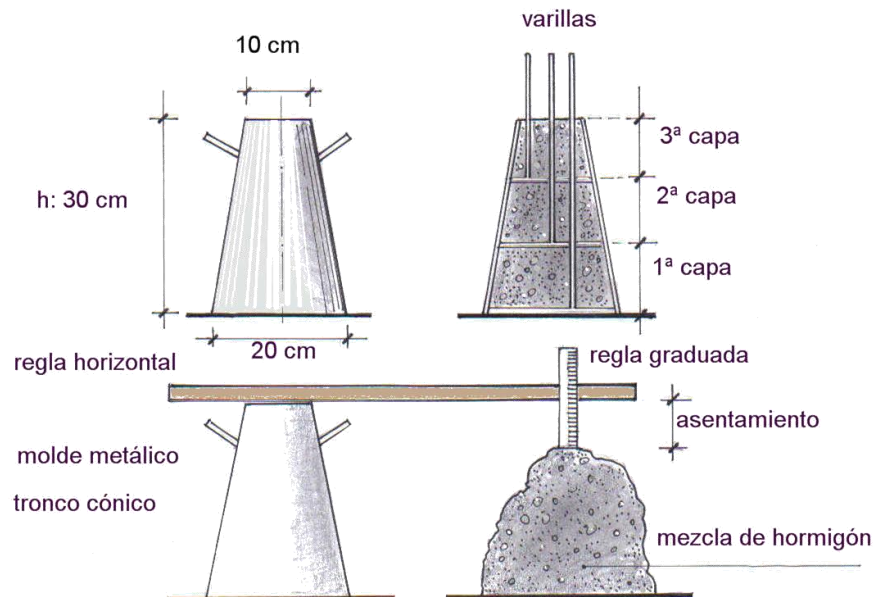


Figura 13. Ensayo Cono de Abrams.

Como resumen a los procedimientos descritos anteriormente (dosificación y trabajabilidad) se generó la **Tabla VI** donde se encuentran los datos de dosificaciones de cada mezcla con su respectivo asentamiento.

Si se organizan los datos teniendo en cuenta la cantidad de marlo y la cantidad de agua se puede ver claramente el comportamiento del asentamiento o trabajabilidad de nuestras mezclas (**Tabla VII**). La consistencia de la mezcla fresca es controlada por la cantidad de agua que se le agregó. Sin embargo, la demanda de agua o la cantidad de agua que se requiere para producir una consistencia deseada depende de muchos factores, como el tamaño del agregado, su graduación y la cantidad, así como el contenido de cemento y su finura. Esto es reflejado ya que para una misma cantidad de marlo, el aumento de agua genera un aumento en el asentamiento. Sin embargo, un aumento de la cantidad de marlo genera una disminución en este parámetro. Esto se da por la trabazón entre las partículas del agregado grueso vegetal y la falta de pasta ligante.

Tabla VI. Dosificaciones volumétricas de las mezclas.

Mezcla	Marlo	Agua	Asentamiento
	[u]	[u]	[cm]
M1/S15	6	3.75	1.2 ± 0.1
M2/S15	9	4.5	2.5 ± 0.1
M3/S15	12	4.5	0
M4/S15	15	4	0.5 ± 0.1
M1/S16	15	4	0.5 ± 0.1
M2/S16	15	4	0
M3/S16	15	6	9.5 ± 0.1
M4/S16	15	6	9.5 ± 0.1
M5/S16	15	4.5	0.5 ± 0.1
M6/S16	14	3.5	0 ± 0.1
M1/S17	10	5	9.5 ± 0.1
M2/S17	10	5.5	11.7 ± 0.1
M3/S17	10	4.5	2 ± 0.1
M1/S19	10	6.5	12.3 ± 0.1
M2/S19	10	6	12 ± 0.1
M3/S19	10	4	0
M4/S19	6	4.5	9 ± 0.1

Tabla VII. Análisis de asentamiento de las mezclas.

Mezcla	Marlo	Agua	Asentamiento
	[u]	[u]	[cm]
M1/S15	6	3.75	1.2 ± 0.1
M4/S19	6	4.5	9 ± 0.1
M2/S15	9	4.5	2.5 ± 0.1
M3/S19	10	4	0
M3/S17	10	4.5	2 ± 0.1
M1/S17	10	5	9.5 ± 0.1
M2/S17	10	5.5	11.7 ± 0.1
M2/S19	10	6	12 ± 0.1
M1/S19	10	6.5	12.3 ± 0.1
M3/S15	12	4.5	0
M6/S16	14	3.5	0
Prom S15/S16	15	4	0.3 ± 0.1
M5/S16	15	4.5	0.5 ± 0.1
M3-M4/S16	15	6	9.5 ± 0.1

Antes de comenzar el moldeo, se determinó el contenido de humedad de las muestras estudiadas según Norma ASTM D-2216 (12). Si bien dicha norma habla de la humedad de suelos y rocas, se adaptó a nuestras mezclas, siguiendo el método de ensayo descrito por la norma. Este método de ensayo cubre la determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) por masa en suelos, rocas, y materiales similares, donde la reducción en masa por secado, se debe a la pérdida de agua. Se utilizó un espécimen de 400 g aproximadamente de la mezcla en estudio. Apartado esto se realizó el siguiente procedimiento:

- a) Se determinó y se anotó el peso del recipiente de la muestra limpio y seco (M_c);
- b) Se colocó el espécimen húmedo de prueba en el contenedor y se determinó el peso del conjunto (M_{cws});
- c) Se identificó la mezcla con un número;
- d) Se llevó el recipiente con el material húmedo al horno de secado;
- e) Se verificó que el horno tenga la temperatura normalizada a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- f) Se dejó el tiempo necesario para obtener masa constante;
- g) Se retiró del horno y se llevó a balanza para obtener el peso del recipiente con el material seco (M_{cs});

Con los datos del ensayo, se calculó el contenido de humedad a través de la siguiente fórmula:

$$w = \left(\frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \right) \cdot 100 = \left(\frac{M_w}{M_s} \right) \cdot 100; \quad [\%] \quad (\text{E } 2)$$

donde:

w = contenido de humedad [%];

M_{cws} = peso de recipiente y el espécimen húmedo [g];

M_{cs} = peso del recipiente y el peso del espécimen secado [g];

M_c = peso del recipiente [g];

M_w = peso del agua [g];

M_s = peso de las partículas sólidas [g].

En la **Tabla VIII** del apartado 3.2.3 - pág. 37 se muestran los valores de humedad calculados de cada mezcla.

3.2.2. Generación de probetas.

Si bien existe una gran cantidad de ensayos para cuantificar diferentes propiedades de una mezcla fresca y endurecida, se tomó la resistencia a compresión como la principal medida para determinar un uso del compuesto generado. Como es sabido, esta propiedad se debe determinar mediante resultados de ensayos de probetas moldeadas con mezclas realizadas. Así, las probetas desempeñan un rol fundamental, ya que de ellas surgirá la aceptación o rechazo del material estudiado en esta Tesis.

Los especímenes que se utilizan para ensayos de compresión deben tener una razón de esbeltez baja para evitar los efectos de pandeo. En nuestro país, y en muchos otros, se han empleado las probetas normales cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. El valor normalizado para la relación L/D que define la norma ASTM C 39 (13) es de 2.0. Sin embargo, las normas se han ido actualizando y permiten el empleo de probetas de dimensiones más pequeñas, siempre que continúe siendo representativa de la mezcla

a estudiar. Los valores convenientes para la razón de esbeltez varían entre 2 y 1,5, pues la resistencia decrece rápidamente conforme aumenta la relación L/D hasta un valor aproximado de 1.50, a partir del cual, el decrecimiento se genera lentamente. Lo anterior se debe a que conforme disminuye la razón, el efecto de la restricción de placas en los extremos es mayor y por lo tanto aumenta la resistencia (14).

Por las razones anteriores y adicionando la disponibilidad de moldes del laboratorio, las probetas elaboradas fueron de geometría cilíndrica con un diámetro de ~ 10 cm y ~15 cm de altura (relación L/D de 1,5). Los moldes utilizados fueron de caño PVC cumpliendo con la norma ASTM C31 (15) donde establece que los moldes que se utilicen para la elaboración de los especímenes deben ser rígidos y no absorbentes.

Para el moldeo se utilizó la técnica de llenado del ensayo del Cono de Abrams (tres capas), así como también el método de varillado para su compactación descrito en el apartado 3.2.1. pág. 28. Como observación, se puede mencionar que en esta parte se prestó mayor atención al acabado de la última capa. Con el enrazado se buscó proporcionar una capa lo suficientemente lisa y plana como para que al momento del ensayo no se vayan a generar concentraciones de esfuerzos. Las probetas se realizaron sobre una bandeja de chapa galvanizada para evitar la pérdida de agua por absorción. Una vez enrasadas, se dejaron en el lugar de elaboración sin ser perturbadas durante el periodo de curado inicial (**Figura 14**). La norma ASTM C31 (15) establece un curado inicial mínimo de 48 hs. La cantidad de especímenes obtenidos por cada mezcla varió en relación a la cantidad de mezcla preparada y las partes de marlo involucradas.



Figura 14. Curado inicial de las probetas.

Transcurrido el tiempo de curado inicial, se desmoldaron las probetas para dar comienzo a la etapa de curado final. El desmolde se realizó utilizando un extractor de probetas manual el cual, a medida que se enrosca la manivela la probeta se desvincula del molde (**Figura 15**). Para evitar el punzonamiento y el rompimiento de la probeta, se coloca un plato de acero del mismo diámetro del molde para que la fuerza aplicada por la manivela se distribuya uniformemente en la cara superior del espécimen.

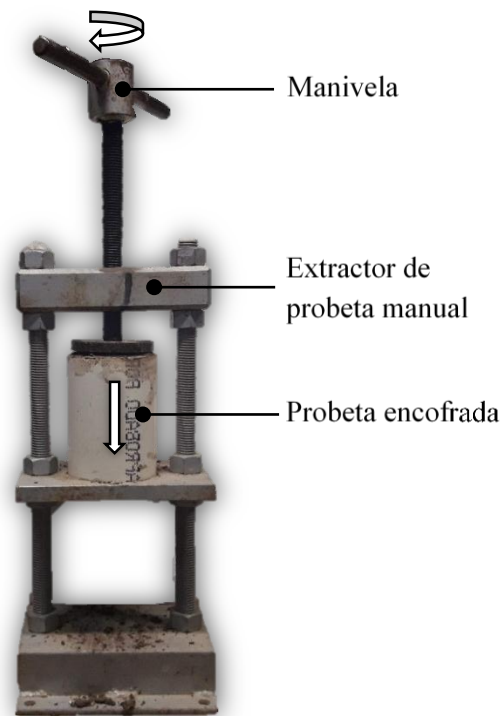


Figura 15. Extractor de probetas manual.

Se establecieron dos etapas dentro del curado final: aireación y reposo. En la primera se colocaron las probetas recién desmoldadas sobre la bandeja galvanizada utilizada en el moldeo. La finalidad de esto fue la aireación de la probeta durante 7 días, para controlar la aparición del moho por humedad (**Figura 16.a**). Finalmente, las probetas se colocaron en una estantería en el reposo hasta la fecha de ensayo. En la misma se identificaron los especímenes con la información correcta respecto al tipo de mezcla, fecha de elaboración, y cantidad de marlo de maíz. Dicho lo anterior, se entiende que las probetas se secaron en ambiente laboratorio, sin ninguna condición específica de humedad y temperatura.

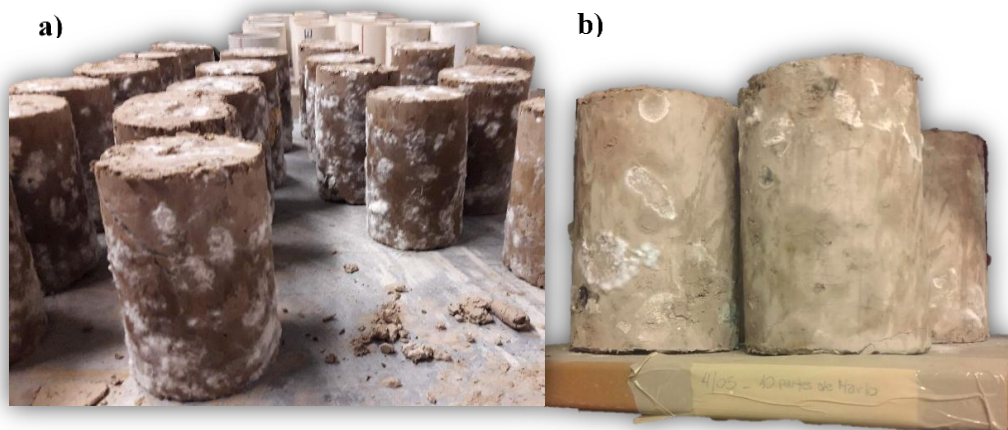


Figura 16. Curado final de probetas; a) Etapa de aireación; b) Etapa de reposo.

3.2.3. *Ensayo a compresión simple.*

Como se mencionó en el apartado anterior, en esta Tesis la máxima resistencia a la compresión de las mezclas es de nuestro mayor interés. La cuantificación de esta propiedad se obtuvo mediante la realización de un ensayo mecánico destructivo a las muestras: ensayo a compresión simple. Este método consiste en aplicar una carga axial de compresión al cilindro moldeado o núcleo a una razón que está dentro del rango prescrito antes de que la falla ocurra. El esfuerzo de compresión del espécimen es calculado dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen (13).

Se planteó el estudio de la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Teniendo esto último en consideración, se definió la edad de las probetas como una variable. La diferencia entre la fecha de elaboración y la fecha de ensayo nos da la edad de la misma. Los ensayos se realizaron con edades de 7, 14, 21, 28 y 35 días. Cabe señalar que algunos ensayos se realizaron fuera de término por cuestiones facultativas como lo son: feriados, mesas de exámenes, etc.

Basándonos en la Norma ASTM C39 (13) se definió el procedimiento para llevar a cabo el ensayo a compresión simple de la siguiente manera:

- a) Instrumental:
 - I). Prensa hidráulica de compresión;
 - II). Celda de carga de 5000 kg y precisión de ± 0.5 kg;
 - III). Suplementos cilíndricos de acero;
- b) Procedimiento de ensayo:
 - I). Se enumeraron las probetas que se llevan a la falla y se registraron datos relevantes: fecha de ensayo; diámetro (\emptyset); altura (l); peso (P_p).
 - II). Se colocaron suplementos circulares de acero concéntricos con la plataforma de la máquina de ensayo para evitar llegar al final del recorrido del pistón central, durante el ensayo.
 - III). Se colocó el espécimen sobre los suplementos cilíndricos;
 - IV). Sobre la cara superior de la probeta se colocó un plato de acero para distribuir la carga uniformemente;
 - V). Colocados todos los elementos, se comenzó a alinear todo cuidadosamente, es decir alineando los ejes de manera que todas las piezas sean concéntricas;
 - VI). Se accionó la prensa hasta que el indicador de carga quede apoyado al plato superior, pero sin tomar carga, es decir que la celda de carga aún se encuentre en el cero (**Figura 17**);
 - VII). Se comenzó a cargar la probeta manualmente de manera continua y sin impacto, teniendo en cuenta la velocidad o razón de carga (ver nota 1);
 - VIII). Se anotó la carga de rotura de la probeta (P_U) (**Figura 18**);
 - IX). Finalmente se tabularon los datos y se realizaron los cálculos necesarios;

Nota 1: La velocidad utilizada en este ensayo es similar a la exigida por la Norma INV E 148-07 (16). Específicamente la norma solicita que la plataforma inferior se desplace a una velocidad de 1,27 [mm/min]. En cambio la velocidad que exige la Norma ASTM C39 (13) está muy por encima de los valores utilizados: 1 [mm/s]. Por lo tanto como se dijo anteriormente, se

tomó la primera velocidad la cual genera una carga estática conveniente para nuestras probetas. Contrariamente, la última norma se refiere a probetas de hormigón donde la carga de rotura está muy por encima de nuestros valores resistentes por lo tanto la velocidad de ensayo no se acomodaba a lo necesario.

Con los datos obtenidos del ensayo se procedió a realizar los cálculos. A continuación se mencionan las fórmulas utilizadas:

- Área de la sección transversal: $\Omega = (\pi \cdot \phi^2) / 4$ [cm²];
- Volumen: $v = \Omega \cdot l$ [cm³];
- Densidad $\rho_M = P_p / v$ [kg/cm³];
- Esfuerzo de compresión: $\sigma_U = P_U / \Omega$ [kg/cm²].

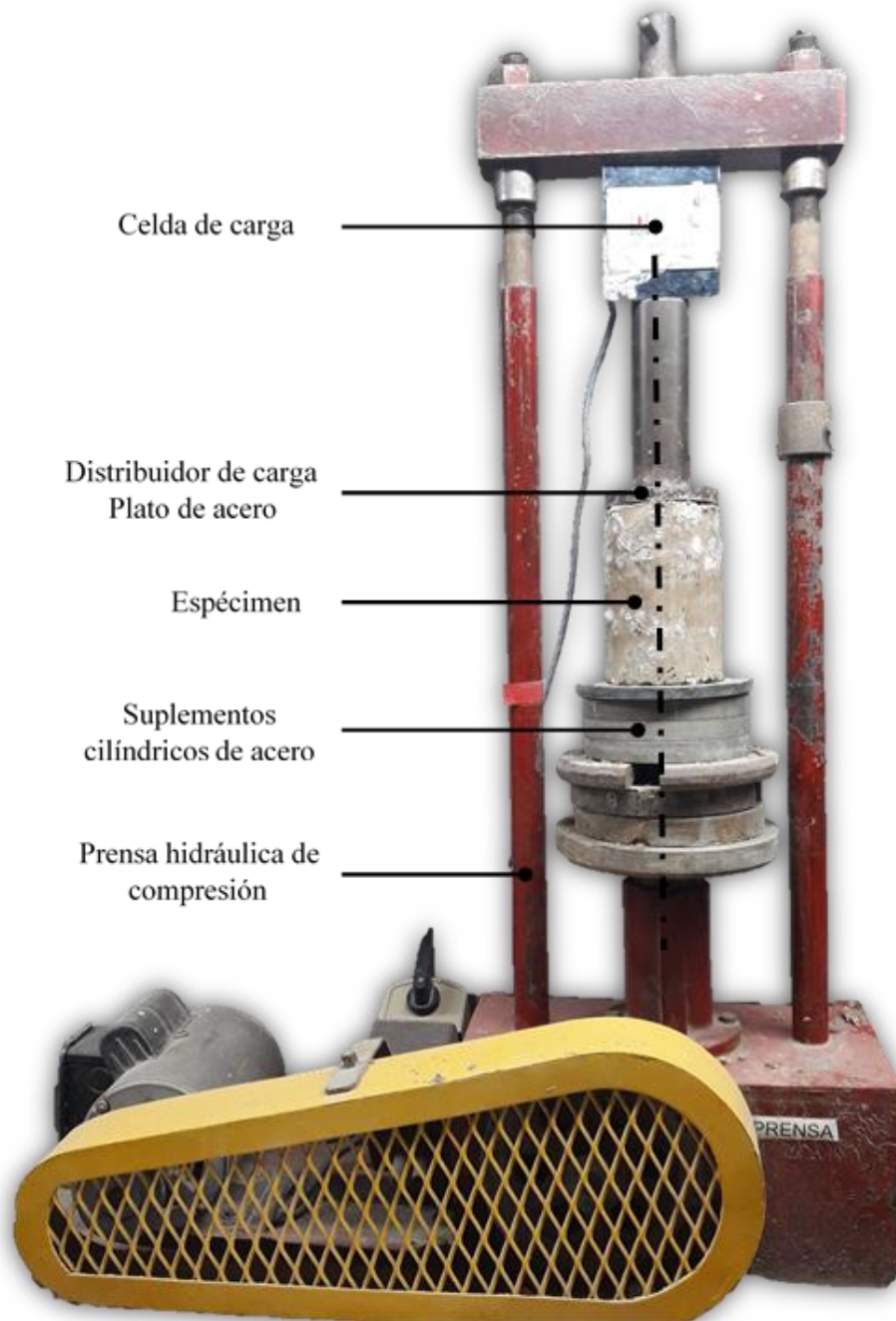


Figura 17. Inicio del ensayo a compresión simple.



Figura 18. Falla de probeta.

Capítulo 4

4. Resultados y Discusión.

4.1. Densidad y Resistencia a compresión.

La **Tabla VIII** muestra los datos promedios de las distintas mezclas evaluadas. Estos valores promedios corresponden a múltiples propiedades analizadas: humedad de la mezcla mencionada en el apartado 3.2.1; densidad de la probeta; carga de fisura; carga última y esfuerzo último de compresión. La cantidad de espécimen por tipo de mezcla y edad de la probeta variaron en un amplio rango, aunque nunca fue menor a cinco unidades. A continuación se adjunta la tabla resumen ordenada por cantidad de marlo, cantidad de agua y edad de las probetas, respectivamente.

Tabla VIII. Resultados promedio de las mezclas: Edad vs σ_{rot} .

Mezcla	W [%]	Edad	ρ_M [kg/m ³]	C. de Fisura (P_F) [kg]	C. última (P_U) [kg]	σ_U [kg/cm ²]
M1/S15 _(6-3.75)	40	25	1229±27	151±27	223±16	2.7±0.2
M4/S19 _(6-4.5)	46	14	1104±17	80±16	116±14	1.4±0.2
		28	1035±52	63±18	107±6	1.3±0.1
M2/S15 _(9-4.5)	44	26	1106±33	116±27	205±22	2.4±0.3
M3/S19 ₍₁₀₋₄₎	29	14	991±27	57±8	116±16	1.4±0.2
		21	929±13	49±13	118±12	1.4±0.2
		28	897±34	51±12	126±19	1.5±0.2
M3/S17 _(10-4.5)	50	9	1317±20	218±27	302±28	3.6±0.4
M1/S17 ₍₁₀₋₅₎	57	28	1118±24	111±23	180±13	2.1±0.1
		35	1070±29	125±30	199±12	2.4±0.1
M2/S17 _(10-5.5)	60	14	1233±32	151±25	265±21	3.2±0.3
M2/S19 ₍₁₀₋₆₎	54	14	1044±19	38±7	56±13	0.7±0.2
		21	1008±32	39±4	72±13	0.9±0.2
		28	954±20	32±6	79±14	0.9±0.2
		35	944±15	39±10	84±2	1.0±0.1
M1/S19 _(10-6.5)	49	7	1123±21	107±7	159±13	1.9±0.2
		14	1023±10	81±15	134±20	1.6±0.2
		28	998±23	93±20	166±17	2.0±0.2
M3/S15 _(12-4.5)	49	14	1061±15	120±15	177±13	2.1±0.2
		25	1025±36	147±30	226±25	2.7±0.3
M6/S16 _(14-3.5)	35	11	1053±74	138±39	186±47	2.2±0.6
		18	1066±24	227±33	285±52	3.4±0.6
M1/S16 ₍₁₅₋₄₎	49	10	1082±27	96±7	153±17	1.8±0.2

Continuación **Tabla VIII**. Resultados promedio de las mezclas: Edad vs σ rot.

M2/S16 ₍₁₅₋₄₎	50	25	982±57	73±14	146±20	1.7±0.2
M1/S16 ₍₁₅₋₄₎	59	28	975±29	93±14	169±13	2.0±0.2
M2/S16 ₍₁₅₋₄₎	50	28	927±39	80±15	132±18	1.5±0.2
M4/S15 ₍₁₅₋₄₎	56	56	888±66	122±16	209±22	2.5±0.2
M5/S16 _(15-4.5)	44	7	1042±33	115±16	151±8	1.7±0.1
		28	981±27	121±20	231±13	2.8±0.2
M4/S16 ₍₁₅₋₆₎	58	21	854±30	54±11	88±13	1.0±0.1
		28	809±38	64±7	96±14	1.1±0.2
		42	801±35	57±14	139±56	1.6±0.6
M3/S16 ₍₁₅₋₆₎	70	49	811±75	59±14	85±9	1.0±0.1

Razonando la **Tabla VIII** podemos ver a simple vista el comportamiento no lineal de la mezcla en varias propiedades analizadas, a continuación se marcan una serie de comparaciones:

- **Densidad de la mezcla vs cantidad de marlo:** la variable en esta comparación es la densidad de mezcla y la cantidad de marlo, fijando la edad de las probetas en 28 ± 3 días. Si bien el comportamiento a esperar es que disminuya la densidad de la mezcla cuando: igual cantidad de agua más cantidad de agregado e igual cantidad de marlo más agua de mezcla, los resultados no reflejan esto. Se puede decir que se generan curvas cóncavas, en lugar de lineales decrecientes (**Figura 19**). Estos comportamientos atípicos se asocian a la naturalidad del agregado grueso, es decir, un material bastante inestable físicamente en presencia de agua. Otro motivo de esto puede darse por los diferentes escenarios de las probetas durante el periodo de curado final. Es decir, suponiendo que el marlo sea capaz de absorber la humedad ambiente, el peso de los especímenes aumentará en días muy húmedos. Cuando el proceso de curado se realiza en condiciones específicas de humedad y temperatura, esta incertidumbre cesa.

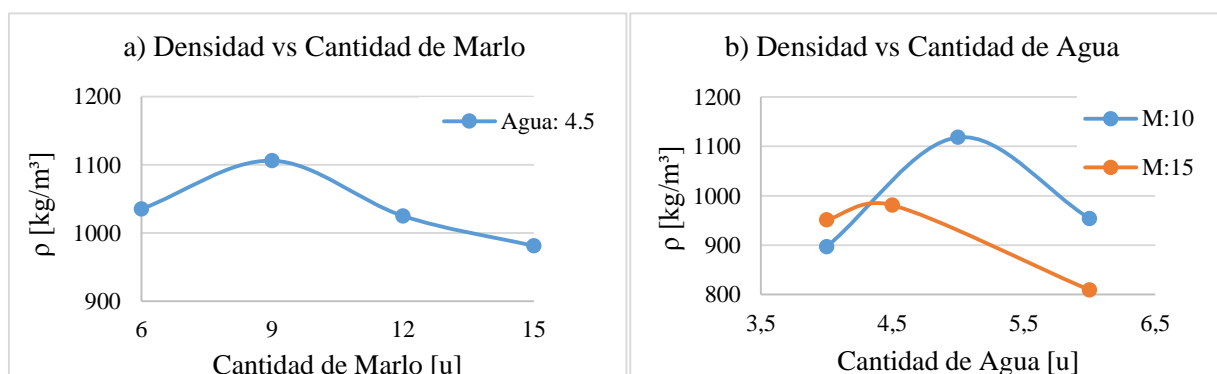


Figura 19. Cambios de densidades con distintas variables: **a)** Cantidad de marlo; **b)** Cantidad de agua.

- **Resistencia a compresión vs cantidad de marlo:** la variable en esta comparación es la tensión última de compresión y la cantidad de marlo, fijando la cantidad de agua en 4.5 partes y la edad de las probetas en 28 ± 3 días. Junto con el incremento de la cantidad

de marlo de maíz a la mezcla se genera un incremento en la resistencia. Observando la Figura 20 notamos que el aumento de la cantidad de marlo es constante (3 partes) pero no lo es el aumento de la resistencia debido a que aumenta considerablemente al incrementarse la cantidad de marlo hasta cierto punto, pasado el cual dicho incremento se hace progresivamente menos pronunciado. Se comparó esa cantidad de agua ya que abarcaba más mezclas, por el contrario si fijamos la variable en 4 y/o 6 partes de agua solo abarca dos mezclas (10 y 15 partes), aunque mantiene el mismo comportamiento, es decir aumenta la resistencia.

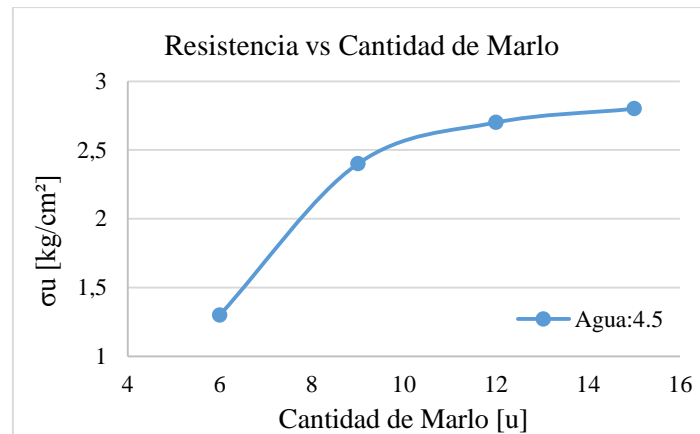


Figura 20. Comportamiento de las mezclas analizadas.

- **Resistencia a compresión vs edad de la probeta:** examinando la resistencia mecánica en relación a la edad de las probetas ensayadas, se puede observar que en el 80% de las mezclas estudiadas se genera un acrecentamiento progresivo en las dos propiedades. Es decir, a mayor edad mayor resistencia mecánica. Si colocamos estos dos parámetros en un sistema de ejes coordenados donde en las abscisas representamos la edad de las probetas y en las coordenadas la resistencia adquirida de la mezcla, se ve claramente lo que se estuvo comentando en las líneas anteriores. Una curva ascendente con el tiempo. En la **Figura 21** se muestra algunas mezclas que están dentro del 80% que mencionamos y las que tenían al menos tres edades estudiadas.

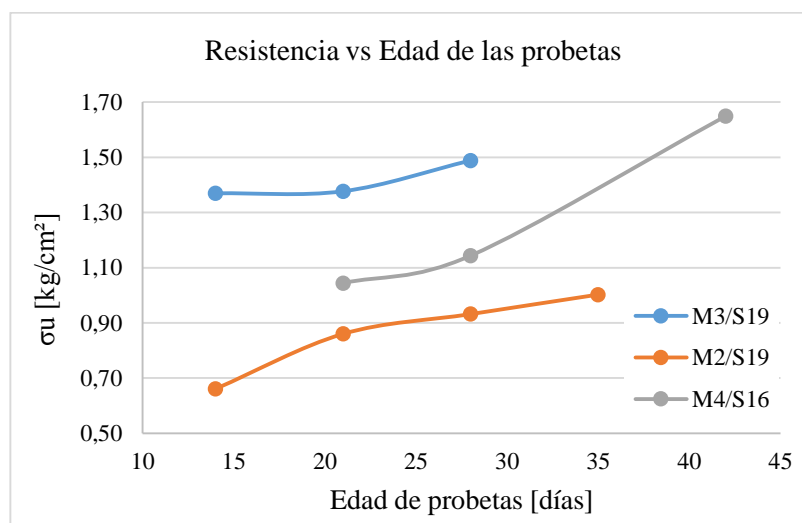


Figura 21. Gráfico de la resistencia vs edad de las probetas.

Como se puede observar, todas las curvas son ascendentes como mencionábamos, sin embargo no todas representan el mismo tipo de curva ni tienen la misma dependencia con respecto al tiempo.

4.2. Humedad de la probeta en el momento de ensayo.

Durante la serie 2019 se determinó la humedad de la probeta (W_p) en el momento del ensayo para analizar la relación de humedad vs resistencia. Es decir, que una de las probetas de cada tanda fue secada al horno para obtener una de las propiedades de índice más significativa. La obtención de la misma se realizó siguiendo el ensayo de determinación de humedad del apartado 3.2.2 pág. 31. A continuación se muestran los resultados (**Tabla IX**).

Tabla IX. Resultado promedio: Resistencia a compresión vs Humedad de Probeta.

Mezclas	Edad	P_F	P_U	σ_U	W_p
		[kg]	[kg]	[kg/cm ²]	[%]
M3/S19 ₍₁₀₋₄₎	14	57±8	116±16	1.4±0.2	16
	21	49±13	118±12	1.4±0.2	8
	28	51±12	126±19	1.5±0.2	6
M2/S19 ₍₁₀₋₆₎	14	38±7	56±13	0.7±0.2	32
	21	39±4	72±13	0.9±0.2	18
	28	32±6	79±14	0.9±0.2	14
	35	39±10	84±2	1.0±0.1	3
M1/S19 _(10-6.5)	7	107±7	159±13	1.9±0.2	24
	14	81±15	134±20	1.6±0.2	10
	28	93±20	166±17	2.0±0.2	4

En este análisis solo se contemplan las mezclas del 2019 que contienen 10 partes de agregado vegetal. Se observa que a medida que se reduce la humedad de las probetas con el paso de los días, aumenta la resistencia y también la carga de fisura. Este comportamiento responde a patrones de mezclas convencionales como lo es el hormigón pobre. Es decir que la humedad minora la resistencia de la mezcla, sin embargo, estos valores no son demasiado significativos. Si lo miramos desde el punto de vista solo del esfuerzo último, la mezcla se puede desencofrar a los 7 días o menos. Aunque para ciertas aplicaciones, se deberá esperar su secado a los 28 días para eliminar los hongos formados.

4.3. Costos.

Se determinó el costo de cada mezcla, teniendo en cuenta la dosificación sin involucrar las partes de agua. Conociendo el peso de cada parte volumétrica de los materiales, se calculó la cantidad necesaria para cada compuesto a través de la densidad de la mezcla. Para el valor de esta última, se utilizó el valor de los 28 días de curado final. Esto se realizó así para poder suponer que la mezcla está seca, o con muy poca humedad,

que despreciando el peso del agua, el error es mínimo, sin nombrar que es la condición más desfavorable. Conociendo estos pesos solo quedó multiplicarlos por el precio comercial de enero 2020.

En cuanto al marlo de maíz, como sabemos es un desperdicio de la actividad económica de nuestra ciudad y la región, por lo tanto el valor de adquisición es nulo pero se contempló un gasto de traslado desde los productores hasta la obra.

A continuación se muestra la tabla con el análisis económico de las diferentes mezclas (**Tabla X**).

Tabla X. Análisis de costos de las mezclas: Enero 2020.

Mezcla	ρ_M	Materia Prima	Dosific.	P.	Costo	Subtotal	Total
	[kg/m ³]			c/material	unitario		
M4/S19	1035	T	9	887	1	810	1750
		C	1	89	10	930	
		M	6	59	0	10	
M2/S15	1106	T	9	863	1	780	1690
		C	1	86	10	900	
		M	9	86	0	10	
M1/S17	1118	T	9	855	1	780	1680
		C	1	86	10	890	
		M	10	94	0	10	
M3/S15	1025	T	9	840	1	760	1650
		C	1	84	10	880	
		M	12	111	0	10	
M6/S16	1066	T	9	825	1	750	1620
		C	1	83	10	860	
		M	14	128	0	10	
M1/S16	975	T	9	818	1	740	1610
		C	1	82	10	860	
		M	15	135	0	10	

El costo de la mezcla, si bien se reduce con el aumento de la cantidad de marlo, no presenta una diferencia significativa. Pero al momento de compararlo con un hormigón liviano o un hormigón pobre, esta diferencia sí se vuelve significativa. El hormigón pobre está compuesto por cemento, agregado grueso (cascote de ladrillo triturado o escombro), agregado fino (arena) y agua: dosificación: (1:1/8:4:3). La comparación con este tipo de mezcla se da ya que se pensó aplicaciones similares para la mezcla T-C-M, es decir contrapiso. Con un costo en el mercado de \$4480 aprox., esta mezcla tradicional es un 2.5 veces más costosa que el compuesto T-C-M. Sin mencionar que no cuenta con la cualidad de ser amigable con el ambiente por lo que eso eleva su costo social.

4.4. Aparición de moho.

Moho es el término que se utiliza comúnmente para describir una sustancia de aspecto aterciopelado, originada por hongos, que crece en los materiales orgánicos, especialmente en presencia de humedad y de descomposición de los mismos. El frío y/o el calor extremos pueden destruirlos. Las esporas germinan cuando encuentran un ambiente favorable. Después de alojarse en el material receptor, las esporas deben contar con la humedad suficiente para germinar y alimentarse. De no haber humedad, las esporas permanecerán inactivas hasta que se presenten las condiciones favorables para su desarrollo (17).

Durante el proceso de curado final, es decir, una vez desmoldadas las probetas, surgió la aparición de moho en los especímenes. Solo se realizó un análisis visual del problema teniendo en cuenta si los mismos se esparcían. En respuesta a esto se apartó un espécimen, se tomaron tres fotos con una diferencia de 4 meses en cada una (**Figura 22**).

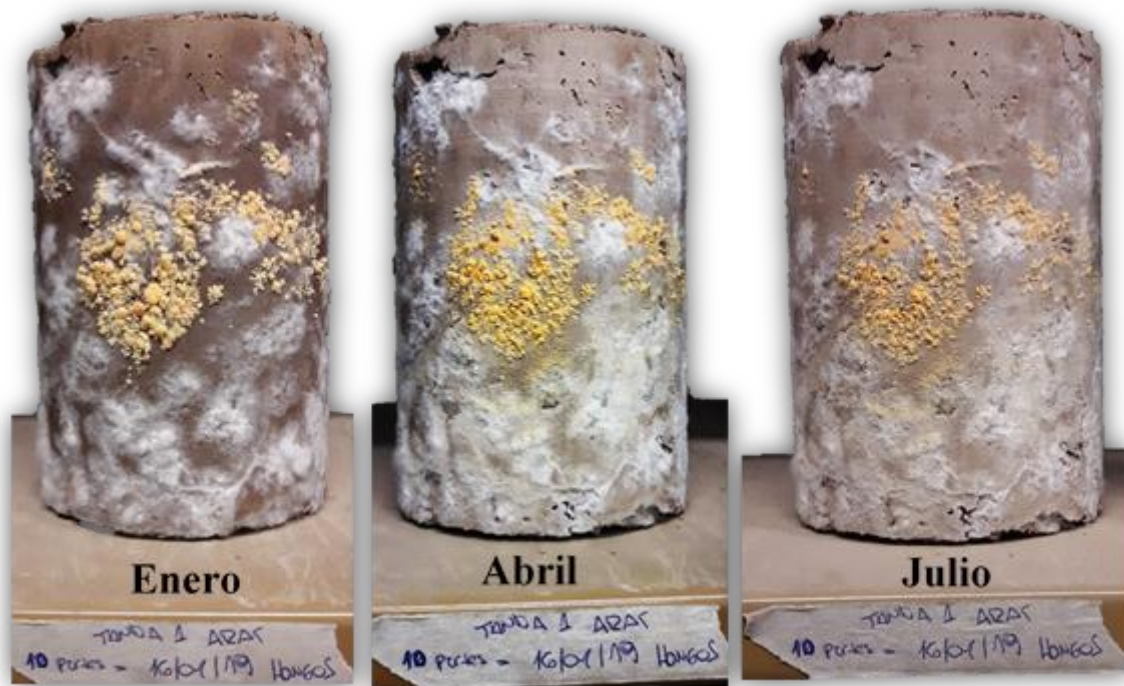


Figura 22. Análisis visual del moho en las probetas.

Como observación y en referencia con lo anterior, podemos mencionar que el moho crece en los primeros días donde la probeta conserva su humedad. Al secado de la misma, se detiene la reproducción del moho y también se reduce el tamaño del ya formado. Sin embargo, el hongo no desaparece por completo por encontrarse en un ambiente todavía favorable para el mismo. La probeta se encuentra expuesta a humedad ambiente por encontrarse dentro del laboratorio sin presencia de luz solar. Si bien el hongo no necesita energía proveniente de la luz para su desarrollo, si sería útil para el secado de la probeta.

Como se mencionó antes solo se analizó visualmente, sin conocer qué pasaría si se modificara el ambiente donde se encontraría la mezcla.

Capítulo 5

5. Aplicaciones en la construcción.

Los factores considerados importantes para la elección de los usos planteados fueron: pensar en un sistema de construcción artesanal con prácticas simples y métodos expeditos reproducibles en obra que aseguren calidad en el proceso. Es decir, que no sea necesario disponer del apoyo de laboratorio para garantizar las condiciones necesarias.

En consideración con lo anterior, a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos, se proyectó la utilización de la mezcla en sistemas constructivos como lo son contrapiso de pendiente o de azoteas inaccesibles y fabricación de adobes. Las aplicaciones constructivas propuestas son preliminares y acotadas a los conocimientos que tenemos al momento de presentar esta Tesis. Es decir, esto no impide que conforme avance la investigación los usos puedan incrementarse o hasta descartarse.

5.1. Contrapiso de pendiente.

Las cubiertas planas se sirven de la pendiente de los contrapisos para eliminar las aguas pluviales (**Figura 23**). Para este tipo de cubiertas no sólo está la necesidad de pendiente y aislación hidrófuga sino que hay otros aspectos a tener en cuenta para contrarrestar o evitar problemas de variación del volumen del contrapiso: dilataciones y contracciones por temperatura y expansiones por condensación del vapor del ambiente interior. Es por esto que lleva varias capas por encima y debajo del contrapiso de pendiente, como se ve en la **Figura 23**.

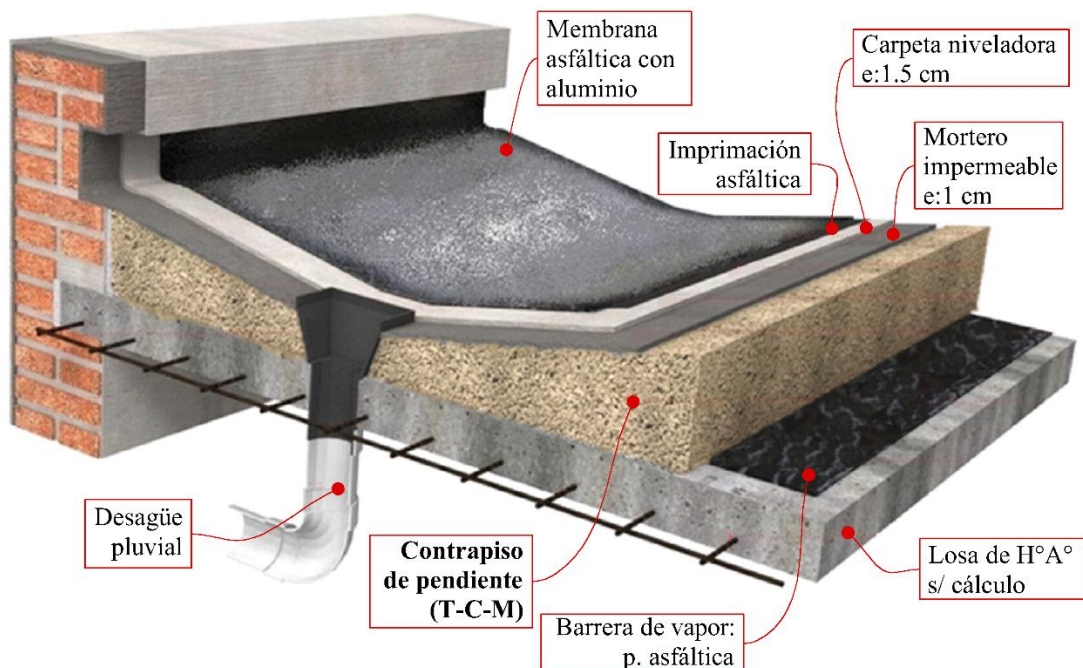


Figura 23. Azoteas planas con pendientes.

Las pendientes usuales para este tipo de cubierta inaccesible ronda entre los 2 y 3 %. Dada la pendiente a la que se ve sometido el contrapiso en este caso, su espesor variará en ambos extremos, siendo más grueso en el extremo opuesto al sentido de escurrimiento y más fino en donde éste se produce (del lado del embudo) llegando a tener un mínimo de 5 cm. La diferencia de espesor entre un extremo y el otro será mayor, cuanto más larga sea la distancia entre dichos puntos. Este espesor puede ser llenado con cualquier material que permita respetar la pendiente y la sobrecarga mínima exigida por norma.

Según la tabla 4.1. (Sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas y sobrecargas mínimas concentradas) de la Norma CIRSOC 101 (18), determina la sobrecarga de diseño según el destino de la estructura. Entre otros, menciona que la sobrecarga mínima uniformemente distribuida para azoteas inaccesibles es de 1 [kN/m²] (0.01 [kg/cm²]). Esto significa que cualquier mezcla de las estudias cumple con la resistencia. Incluso se podría pensar en el contrapiso de azoteas accesibles privadamente lo cual solicita una sobrecarga de 3 kN/m² (0.03 [kg/cm²])

Igualmente, los valores expuestos en esta Tesis son tensiones de rotura. Por lo que faltaría afectarlos por un coeficiente de seguridad, para hablar en término de tensión admisible.

Como sabemos, en el ensayo a compresión simple realizados se aplicó a las probetas una fuerza axial hasta romperlas. Esta carga máxima es la carga última de probeta y se denota con P_U (19). Si a P_U se la divide por el área de la sección se obtiene el esfuerzo normal del material en cuestión (σ_U). Conociendo estos valores, se debe diseñar los elementos estructurales de modo que la carga a la que estará sometido en condiciones normales de uso, sea bastante menor a la carga conocida por ensayo (P_U). Esta carga menor es la carga admisible y, a veces, la carga de trabajo o de diseño. Esto tiene el fin de asegurar que solo se utilizará una fracción de la carga última durante su vida útil. El remanente de la capacidad del elemento se deja en reserva para asegurar la estabilidad y el desempeño seguro. La razón entre la carga última y la carga admisible se define como factor de seguridad, es decir:

$$\text{Factor de seguridad} = F.S = \frac{P_U}{P_{adm}} \quad (\text{E } 3)$$

Cuando existe una relación lineal entre la carga y el esfuerzo generado, la ecuación (E2) se puede expresar en términos de este último.

Si esto lo llevamos a valores de esfuerzo último de la mezcla de tierra-cemento-marlo (T-C-M) y la sobrecarga de uso exigida por la Norma CIRSOC 101 (18) podríamos determinar el factor de seguridad. Para ellos se tomó la peor condición, es decir: la mezcla con el menor esfuerzo último (M2/S19) y la sobrecarga mayor (azoteas accesibles privadamente):

$$\text{Factor de seguridad} = F.S = \frac{0.7 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]}{0.03 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} = 23.33$$

Por consiguiente, colocando un factor de seguridad de 15, lo cual es muy alto, todas las mezclas están aptas para los dos usos planteados. Haciendo la salvedad que nos referimos a valores de resistencia.

Al colocar un factor de seguridad alto se tiene en cuenta muchas consideraciones como: el comportamiento impredecible de las mezclas de T-C-M ya que sus componentes son materiales orgánicos; probabilidad de sobrecarga accidental de la estructura debido a cargas que exceden las de diseño; variaciones en las propiedades de las mezclas por cambio en las proporciones de los agentes ligante; variabilidad en la calidad de la mano de obra.

Una desventaja de colocar un factor de seguridad tan grande en estructuras con materiales tradicionales, es que se vuelve muy pesada y con dimensiones difícil de ejecutar. Sin embargo, esta desventaja no se proyecta en las mezclas estudiadas en esta Tesis por un motivo fundamental: el marlo de maíz como agregado grueso aporta volumen pero no peso propio resultando un compuesto con muy baja densidad y resistencia apropiada.

Como desventaja para la aplicación de mezclas con materiales orgánicos en elementos constructivos, podemos mencionar que se deberá tener un mayor cuidado en la elección de los aislantes hidráulicos. El tipo, cantidad y calidad de los materiales de las capas aislantes que componen una azotea con contrapiso de T-C-M son fundamental para conservar las propiedades mecánicas del mismo.

Por lo contrario, se pueden mencionar varias ventajas de utilizar este tipo de mezclas para contrapisos de pendientes en azoteas accesibles y no accesibles:

- a) Resistencia adecuada;
- b) Baja densidad;
- c) Contribuye con la aislación térmica del ambiente, como sabemos la tierra es un buen aislante térmico;
- d) Bajo costo de materia prima;
- e) Contribuir al medio ambiente por la reutilización de un desecho agrícola abundante.

5.2. Adobes con agregado vegetal.

El adobe es un componente básico que se pre-fabrica con una mezcla en estado plástico, moldeable sin necesidad de compresión, con auxilio de moldes, y que una vez seco se emplea como mampuesto trabado, unido por un mortero generalmente con una mezcla muy parecida a la del adobe, para paredes autoportantes, paredes portantes, arcos, bóvedas y cúpulas. Se puede utilizar generando formas ortogonales y curvas, siempre y cuando se respete su calidad resistente a compresión (6). En cuanto a los adobes realizados de tierra – cemento – marlo (T-C-M), los usos parciales considerados se restringe a la construcción de cerramientos internos verticales no portantes o como aislación de tabiques internos realizados con la modalidad de construcción en seco como drywall.

Drywall es un sistema que utiliza perfiles de acero de muy bajo espesor para el montaje de particiones interiores que no reciben cargas estructurales, como tabiques, cielorrasos y revestimientos. La aislación en este tipo de estructuras está basada en criterios de aislamientos multicapa combinar placas livianas de cerramiento separadas entre sí por paneles de lanas minerales de aislamiento térmico y acústico (**Figura 24**).

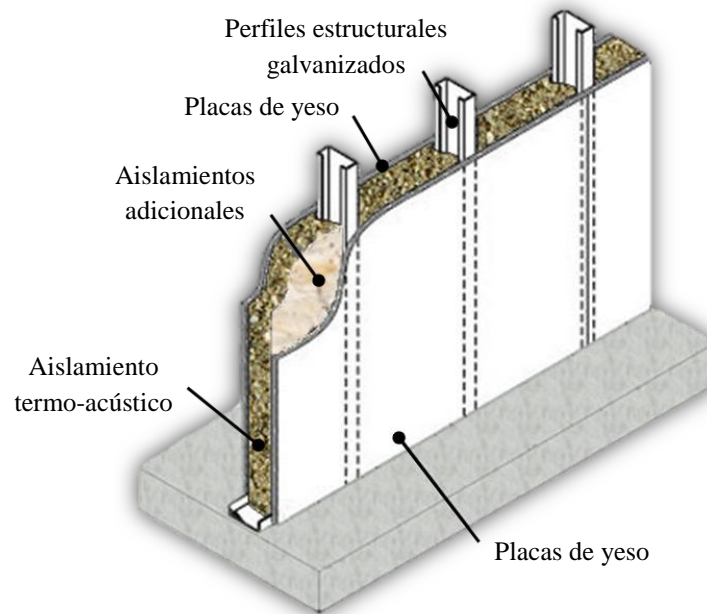


Figura 24. Detalle del sistema drywall de muro interior con adobes de T-C-M como aislamiento.

El proyecto con los adobes de T-C-M es colocarlos en reemplazo de la lana de vidrio, como aislamiento termo-acústico.

Como sabemos y se ha mencionado anteriormente la tierra como materia prima principal, mejora y disminuye sensiblemente los consumos de calefacción y refrigeración dado que se minimizan las pérdidas de energía por su buena inercia térmica. Como es el caso de los BTC que mejoran la sensación de confort térmico en el interior de las viviendas, considerablemente mejor que el block de concreto y el ladrillo cocido puesto que mostró un mayor retraso térmico que estos (20).

Como ventaja de la utilización de los adobes es la facilidad de colocación por tratarse de elementos con dimensiones similares a un ladrillo convencional. El ahorro energético durante su vida útil y el ahorro inicial por su bajo costo, ya que se trata de un elemento de fabricación artesanal. En relación a la lana de vidrio comercial, (aislante utilizado convencionalmente) el costo por m^2 se reduce en un 95% aproximadamente. Así mismo, como desventaja se puede mencionar la necesidad de colocar aislantes adicionales entre los adobes y el revestimiento de placas de yeso. Este tipo de aislante se lo llama barrera de vapor, lo cual impide que se filtre vapor de agua dentro de los paneles. Sin la barrera de vapor, el vapor que penetra el panel se condensaría y produciría con el tiempo hongos y humedad.

Como mencionamos antes, la investigación de los usos propuestos están en su etapa inicial. A continuación se muestra el proceso experimental del tema, ya que no se cuenta con resultados de propiedades mecánicas.

En primer lugar, se pensó en realizar un bloque para la fabricación de muros divisores internos con dimensiones similares a un bloque columna cerámico (18x19x33 cm). Se realizó el molde de madera de esas dimensiones. En la base del molde, se colocaron dos tubos de PVC de \varnothing 63mm para generar las oquedades. Estos huecos sirven no solo para

reducir el peso del bloque de T-C-M sino también para la ejecución de refuerzos en esquinas, encuentros y paredes extensas. (**Figura 25**).

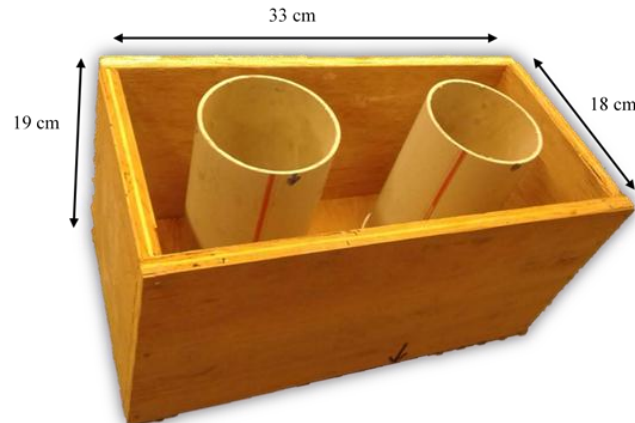


Figura 25. Molde de madera fabricado para el bloque de T-C-M.

Se tomó las proporciones de la mezcla M3/S16₍₁₅₋₆₎ para obtener un bloque liviano. El preparado de la misma se realizó como se menciona en el apartado 3.2.1 pág. 26 y se llenó el molde en 3 capas varillando cada capa con 25 golpes (**Figura 26.a**). Se enrasó y se dejó reposar 4 días (**Figura 26.b**). Luego se desmoldó, comenzando el proceso de curado, es decir humedeciéndolo cada 3 horas durante un periodo de tres días (**Figura 26.c**). Pasado el curado, la apariencia del ladrillo era muy escamosa, en consecuencia de la hinchazón que sufre el marlo y la gran cantidad que contenía de este sumándole, poco material ligante para poder tomar la forma del molde (**Figura 26.d**).

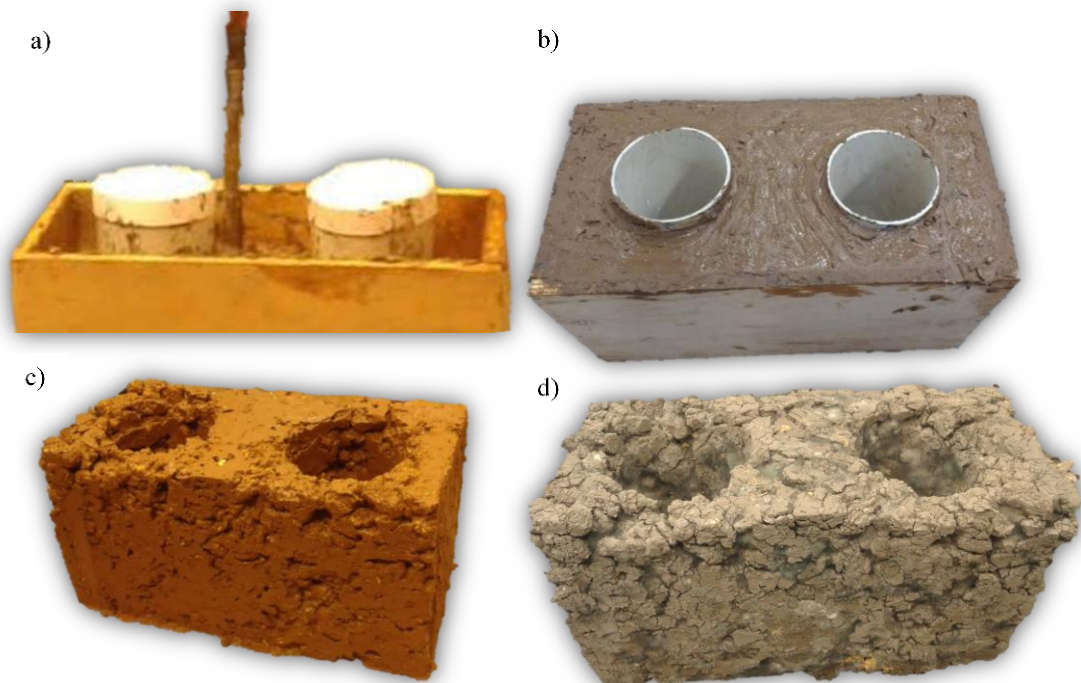


Figura 26. Bloque columna de T-C-M: **a)** Llenado y varillado; **b)** Enrasado y curado inicial; **c)** Desmolde y curado final; **d)** Bloque seco.

En resumen a lo anterior, esta primera opción de bloque se descartó, no solo por su apariencia sino que resultó ser un bloque demasiado grande y pesado.

Seguidamente, se experimentó la fabricación de un ladrillo con dimensiones más pequeñas y menos cantidad de marlo. Las dimensiones fueron de 15x30x7.5 cm, es decir similar a un ladrillo común de construcción (25x12x6 cm). Se ejecutó un molde de madera desarmable para agilizar el desmolde, en este caso se planteó en dirección vertical. El motivo de esto era reducir la superficie libre superior, mejorando el confinamiento del marlo y minimizando la expansión del mismo, reduciendo notablemente el agrietamiento superficial. Que fue en cierta forma lo que perjudicaron al bloque columna. En la primera prueba se realizó solo un ladrillo para verificar la apariencia y la factibilidad del molde. Con resultados positivos, se activó la segunda etapa donde se proyectó un molde para realizar diez adobes en paralelo (**Figura 27**). El fin de esto era para poder generar varios adobes con una misma tanda de mezcla y mismo tiempo de secado para comenzar un estudio de sus propiedades mecánicas.



Figura 27. Molde para 10 adobes T-C-M de 30x15x7 cm.

Se utilizó la dosificación de la mezcla **M4/S19**_(6-4.5) para reducir el contenido de marlo. Anterior a colocar la mezcla dentro del molde, se aceitó cada compartimiento para evitar que la madera absorba el agua de la mezcla. Como el resto, se llenó en 3 capas con un varillado de 25 golpes c/u, se enrazo y se dejó reposar durante 7 días dentro del molde (curado inicial) (**Figura 28**). El curado final comenzó luego de desmoldado durante un periodo de 28 días. Al igual que las probetas, los adobes se colocaron en una estantería con la información correcta respecto al tipo de mezcla, fecha de elaboración, y cantidad de marlo de maíz. Dicho lo anterior, se entiende que los adobes se secaron en ambiente laboratorio, sin ninguna condición específica de humedad y temperatura.

A 28 días de su elaboración los adobes se encontraban en condiciones físicas óptimas, conservando su forma de prisma rectangular con cantos vivos. Así mismo, no se detectó la aparición de hongos como en las probetas. Claramente al reducir el porcentaje de agregado vegetal a la mezcla, la expansión de este fue menor, no generó grietas y conservó la forma intacta del molde. El material ligante (tierra y cemento) logró cubrir el marlo de maíz agregado, evitando la formación de microorganismos.



Figura 28. Adobes durante el curado inicial.

En la **Figura 29** se aprecia lo antes mencionado, adobes con cantos vivos y geometría prismática.



Figura 29. Condiciones físicas de adobe de T-C-M a los 28 días de edad.

Capítulo 6

6. Conclusiones y trabajos futuros.

6.1. Conclusiones.

La adición de materiales orgánicos y otros materiales locales en el apoyo a la albañilería para fabricar y mejorar los morteros, sobretodo en resistencia y durabilidad, va en aumento. Pese a esto, muchas de las mejoras que se basan en la adición de fibras vegetales se limitan a la paja, siendo escaso la investigación de otros tipos de agregado vegetal, como por ejemplo el marlo de maíz.

El objetivo de esta Tesis no solo fue encontrar un material que incluya a la tierra como material predominante, minorando la cantidad de aglomerantes comerciales en su composición, y además tenga usos aplicables a la construcción. Sino también darle un uso a un residuo muy abundante a nivel regional, el cual aporta ciertas características mecánicas, abarata la mezcla y permite la biodegradación de la misma una vez desechada.

Respecto a las actividades de índole experimental, se realizaron mezclas con distintas dosificaciones y se fabricaron probetas para luego ser ensayadas a compresión. Los resultados de esta etapa fueron:

- **Trabajabilidad:** el comportamiento del asentamiento o trabajabilidad de la mezcla fresca es controlada por la cantidad de agua agregada. Sin embargo la demanda de agua o la cantidad de agua que se requiere para producir una consistencia deseada del material depende de muchos factores, tales como su proporción, el tamaño del agregado, su graduación granulométrica, así como el contenido de cemento y su finura. Esto es reflejado ya que para una misma cantidad de marlo el aumento de agua genera un incremento en el asentamiento. Sin embargo, un aumento de la cantidad de marlo genera una disminución en este parámetro. Esto se da por la trabazón entre las partículas del agregado grueso vegetal y la falta de pasta ligante.

- **Densidad de la mezcla vs cantidad de marlo:** como variable se presenta la cantidad de marlo y se fijó la edad de las probetas en 28 ± 3 días. Si bien el comportamiento a esperar es que disminuya la densidad de la mezcla cuando: igual cantidad de agua más cantidad de agregado e igual cantidad de marlo más agua de mezcla, los resultados no reflejan esto. Se puede decir que se generan curvas cóncavas y no lineales crecientes. Estos comportamientos atípicos se asocian a la naturalidad del agregado grueso, es decir un material bastante inestable físicamente bajo la presencia de agua.

- **Resistencia a compresión vs cantidad de marlo:** la variable en esta comparación es la tensión última de compresión y la cantidad de marlo, fijando la cantidad de agua en 4.5 partes y la edad de las probetas en 28 ± 3 días. Junto con el incremento de la cantidad de marlo de maíz a la mezcla se genera un incremento en la resistencia. Cuando el aumento de la cantidad de marlo es constante (3 partes), no lo es el aumento de la resistencia debido a que aumenta considerablemente al incrementarse la cantidad de marlo hasta cierto punto, pasado el cual dicho incremento se hace progresivamente menos pronunciado. Se comparó las mezclas con ese contenido agua ya que abarcaban más

datos, por el contrario si fijamos la variable en 4 y/o 6 partes de agua solo se abarcan dos mezclas (10 y 15 partes), aunque mantiene el mismo comportamiento, es decir aumenta la resistencia.

- **Resistencia a compresión vs edad de la probeta:** examinando la resistencia mecánica en relación a la edad de las probetas ensayadas, se puede observar que en el 80% de las mezclas estudiadas se genera un acrecentamiento progresivo en las dos propiedades. Es decir, a mayor edad mayor resistencia mecánica.

- **Resistencia a compresión vs humedad de la probeta:** Se observa que a medida que se reduce la humedad de las probetas con el paso de los días, aumenta la resistencia y también la carga de fisura. Este comportamiento responde a patrones de mezclas convencionales como lo es el hormigón pobre. Es decir que la humedad minora la resistencia de la mezcla, sin embargo, estos valores no son demasiado significativos. Si lo miramos desde el punto de vista solo del esfuerzo último, la mezcla se puede desencofrar a los 7 días o menos. Aunque para ciertas aplicaciones, se deberá esperar su secado (28 días) para eliminar los hongos formados.

- **Costo:** El costo de la mezcla, si bien se reduce con el aumento de la cantidad de marlo, no presenta una diferencia significativa. Pero al momento de compararlo con un hormigón liviano o un hormigón pobre, esta diferencia sí es significativa. Con un costo en el mercado en el mes de enero de \$4480 aprox., esta mezcla tradicional es 2.5 veces más costosa que el compuesto T-C-M. Sin mencionar que no cuenta con la cualidad de ser amigable con el ambiente por lo que eso eleva su costo social.

- **Aparición de moho:** el moho crece en los primeros días donde la probeta conserva su humedad. Al secado de la misma, se detiene la reproducción del moho y también se reduce el tamaño del ya formado. Sin embargo, el hongo no desaparece por completo por encontrarse en un ambiente todavía favorable para el mismo. La probeta se encuentra expuesta a humedad ambiente dentro del laboratorio sin presencia de luz solar. Si bien el hongo no necesita energía proveniente de la luz para su desarrollo, si es útil para el secado de la probeta. Solo se analizó visualmente, sin conocer qué pasaría si se modificara el ambiente donde se localiza la mezcla.

- **Usos: contrapiso de pendiente:** la Norma CIRSOC 101 (18), determina que la sobrecarga mínima uniformemente distribuida para azoteas inaccesibles es de 1 [kN/m²] (0.01 [kg/cm²]). Esto significa que cualquier mezcla de las estudiadas cumple con la resistencia. Incluso se podría pensar en el contrapiso de azoteas accesibles privadamente la cual solicita un sobrecarga de 3 kN/m² (0.03 [kg/cm²]). Afectando los valores anteriores por un coeficiente de seguridad (FS) de 15, para hablar en términos de tensión admisible siguen siendo aptos para el uso planteado. Como desventaja para la aplicación de mezclas con materiales orgánicos en elementos constructivos, podemos mencionar que se deberá tener un mayor cuidado en la elección de los aislantes hidráulicos.

6.2. Futuras líneas de investigación.

Con el fin de ampliar las posibilidades de aplicación y de valoración de este tipo de mezclas y de desarrollar sus aplicaciones, se sugieren algunas líneas de investigación.

- Conocer experimentalmente el comportamiento de un contrapiso y/o muro a escala real, con condiciones ambientales y cargas reales;
- Capacidad de aislación térmica y acústica de la mezclas;
- Limitaciones ambientales del marlo de maíz por ser un material orgánico con una posibilidad de imprimación de algún solvente de protección;
- Alteraciones en la dosificación: cambio en la relación a/c para mejorar las características mecánicas;
- Incorporación de fibras vegetales como la chala del maíz para estudiar su comportamiento frente al esfuerzo de corte;
- En los adobes, seguir las demandas de la Norma UNE 41410 (21) como la resistencia a compresión, resistencia a ciclos de humectación/secado, resistencia a la erosión, absorción de agua por capilaridad, resistencia de ciclos de hielo/deshielo, propiedades térmicas, permeabilidad al vapor de agua, reacción al fuego y/o adherencia;
- Encontrar un proceso de trituración del marlo para generar una granulometría continua y verificar si modifica las propiedades del adobe, como por ejemplo aumentar la cantidad de proporciones del mismo dentro de la mezcla.

Bibliografía

1. geologiaweb. *Geología, ramas y aplicaciones*. [En línea] <https://geologiaweb.com>.
2. UNE 103204:2019. *Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico*. Madrid : s.n.
3. UNE 103205:2019. *Determinación del contenido de sales solubles de un suelo*. Madrid : s.n.
4. Minke, Gernot. *Manual de Construcción en Tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Montevideo : EDITORIAL FIN DE SIGLO, 2008. Vol. Tercera. 9974-49-347-1.
5. ISO 17892-4:2016. *Investigación geotécnica y pruebas - Las pruebas de laboratorio de suelo - Parte 4: Determinación de la distribución del tamaño de partícula de las partículas*.
6. Neves, Célia y Faria, Obede Borgues. *Técnicas de construcción con tierra*. [En línea] Febrero de 2011. <<http://www.redproterra.org>>.
7. Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. *Mecánica de Suelos: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Segunda. D.F. México : Limusa, 1969.
8. Dirección Nacional de Vialidad. *VN - E1 - 65: Tamizado de suelos por vía húmeda*. . Buenos Aires : Vialidad Nacional.
9. —. *VN - E2 - 65: Límite líquido*. . Buenos Aires : Vialidad Nacional.
10. —. *VN - E3 - 65: Límite plástico, índice de plasticidad*. Buenos Aires : Vialidad Nacional.
11. IRAM 1536:1948. *Hormigón fresco de cemento Pórtland. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono*. s.l. : Intituto Argentino de Racionalización de Materiales, 1978.
12. ASTM D-2216 – 98. *Método de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas por masas*. 1998.
13. ASTM C 39-10. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. 2015.
14. González Beltrán, Guillermo y Monge Sandí, Ana. *Recomendaciones para obtener resultados confiables de resistencia de cilindros de concreto*. 2011. Vol. I.
15. ASTM C31-10. *Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*. 2015.
16. INV E-148-07. *Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio)*. s.l. : Instituto Nacional de Vías, 2007.
17. *Mold: Prevention Of Growth In Museum Collections*. National Park Service USA. 3/4, West Virginia : National Park Service, Agosto de 2007, Conserve o Gram.
18. INTI CIRSOC 101. *Reglamento Argentino de cargas permanentes y sobrecargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras*. Buenos Aires : INTI, Julio de 2005.
19. Chavez Garibay, Jostin. *Apuntes de Resistencia de Materiales - Factor de Seguridad*. Lima : s.n., 2015.
20. Roux Gutiérrez, Rubén Salvador y Gallegos Sánchez, Diana Patricia. *Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos*. [En línea] 2015. <https://core.ac.uk/download/pdf/76597541.pdf>.

21. UNE 41410:2008. Bloques de tierra comprimida para muro y tabiques: Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Madrid, España : AENOR, 2008.

Anexo: Resultados de ensayos.**Mezclas 2015**

Mezcla 1

Fecha Elaboración: 29/05/2015

Proporciones = 9 T + 1 C + 6 M + 3.75 A

Asentamiento=1.2 cm

Cantidad de probetas: 9

Primer ensayo: 9 probetas Fecha:22-06-2015								
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σ_{rot} [kg/cm ²]
1	10.3	15.0	1255.4	1.5	1195.3	160.0	218.0	2.6
2	10.3	15.2	1268.1	1.5	1189.6	180.0	236.5	2.8
3	10.2	15.3	1247.8	1.5	1235.4	160.0	228.0	2.8
4	10.2	14.9	1224.6	1.5	1260.5	170.0	210.0	2.5
5	10.2	15.4	1260.9	1.6	1233.6	180.0	255.5	3.1
6	10.2	15.4	1260.0	1.5	1225.3	110.0	203.5	2.5
7	10.2	14.7	1207.5	1.5	1248.2	140.0	221.5	2.7
8	10.3	15.6	1307.4	1.6	1211.4	110.0	207.5	2.5
9	10.2	15.2	1241.2	1.6	1265.8	150.0	224.5	2.8
25 días	10.25	15.17	1252.55	1.54	1229.46	151.11	222.78	2.70

Mezcla 2

Fecha Elaboración: 01/06/2015

Proporciones = 9 T + 1 C + 9 M + 4.5 A

Asentamiento= 2,5 cm

Cantidad de probetas: 10

Primer ensayo: 10 probetas Fecha:26-06-2015								
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σ_{rot} [kg/cm ²]
1 (*)	10.2	15.7	1285.4	1.4	1073.3	50.0	238.0	2.9
2	10.4	15.0	1277.4	1.4	1121.5	140.0	176.0	2.1
3	10.2	14.3	1164.4	1.3	1147.6	97.0	175.0	2.1
4	10.3	14.9	1247.0	1.4	1120.3	130.0	199.5	2.4
5	10.5	15.9	1376.8	1.4	1041.7	114.0	207.0	2.4
6	10.3	15.7	1315.8	1.4	1080.0	135.0	198.5	2.4
7	10.3	15.6	1285.6	1.4	1119.5	114.0	214.5	2.6
8	10.3	15.0	1248.1	1.4	1132.1	130.0	239.5	2.9
9	10.3	15.4	1290.7	1.5	1129.1	110.0	194.0	2.3
10	10.3	15.5	1301.6	1.4	1095.0	138.0	206.5	2.5
26 días	10.32	15.28	1279.27	1.414	1106.01	115.80	204.85	2.45

Mezcla 3

Fecha Elaboración: 08/06/2015

Proporciones = 9 T + 1 C + 12 M + 4.5 A

Asentamiento= 0 cm

Cantidad de probetas: 10

Primer ensayo: 10 probetas					Fecha:3-07-2015			
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σrot [kg/cm ²]
1 (*)	10.3	15.5	1290.7	1.4	1060.9	120.0	176.5	2.1
2	10.1	15.1	1213.0	1.3	1092.7	125.0	202.5	2.5
3	10.3	15.5	1301.6	1.3	1020.5	109.0	271.0	3.2
4	10.2	15.8	1288.5	1.3	1034.7	153.0	244.0	3.0
5	10.6	15.4	1350.4	1.3	973.4	165.0	235.0	2.7
6	10.3	15.5	1284.8	1.3	1026.9	180.0	220.5	2.7
7	10.3	15.2	1271.4	1.3	1029.4	140.0	205.0	2.4
8	10.4	15.3	1306.3	1.3	996.2	195.0	260.0	3.0
9	10.5	15.4	1330.0	1.3	989.1	137.0	215.0	2.5
10	rota	rota						0.00
25 días	10.3	15.4	1293.0	1.3	1024.9	147.1	225.5	2.7

Mezcla 4

Fecha Elaboración: 19/06/2015

Proporciones = 9 T + 1 C + 15 M + 4 A

Asentamiento= 0.5 cm

Cantidad de probetas: 10

Primer ensayo: 10 probetas					Fecha:14-08-2015			
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σrot [kg/cm ²]
1	10.3	15.6	1310.0	1.1	862.8	150.0	231.5	2.8
2	10.3	15.5	1294.0	1.1	879.6	135.0	195.5	2.3
3	10.3	12.5	1043.2	1.1	1070.3	120.0	220.0	2.6
4	10.2	15.6	1274.7	1.1	897.7	116.0	206.0	2.5
5	10.4	15.1	1282.7	1.1	876.9	140.0	214.0	2.5
6	10.4	15.6	1312.5	1.2	878.4	115.0	238.5	2.8
7	10.2	15.0	1225.7	1.0	849.1	104.0	182.5	2.2
8	10.2	15.8	1291.1	1.1	860.4	120.0	167.0	2.0
9	10.5	15.4	1333.5	1.1	835.9	100.0	212.0	2.4
10	10.3	15.3	1274.8	1.1	873.7	120.0	225.5	2.7
56 días	10.3	15.1	1264.2	1.1	888.5	122.0	209.3	2.5

Mezclas 2016

Mezcla 1

Fecha Elaboración: 27/05/2016

Proporciones = 9 T + 1 C + 15 M + 4 A

Asentamiento=0,5 cm

Cantidad de probetas: 10

Primer ensayo: 5 probetas					Fecha:06/06/2016			
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σrot [kg/cm ²]
1	10.4	15.5	1321.8	1.5	1123.5	90.0	156.0	1.8
2	10.5	15.5	1343.8	1.4	1069.4	104.0	173.5	2.0
3	10.4	15.5	1313.3	1.4	1063.0	90.0	132.5	1.6
4	10.4	15.4	1295.6	1.4	1060.5	95.0	139.0	1.6
5	10.7	15.4	1370.1	1.5	1093.4	103.0	163.5	1.8
10 días	10.5	15.4	1328.9	1.4	1081.9	96.4	152.9	1.8
Segundo ensayo: 5 probetas					Fecha: 24/06/2016			
6	10.5	15.0	1294.9	1.3	968.4	87.0	159.0	1.8
7	10.5	15.4	1326.8	1.2	927.8	105.0	163.0	1.9
8	10.4	15.5	1316.7	1.3	998.7	103.5	185.0	2.2
9	10.4	15.6	1315.0	1.3	984.0	70.0	182.0	2.2
10	10.4	15.5	1306.6	1.3	998.0	97.0	157.0	1.9
28 días	10.4	15.4	1312.0	1.3	975.3	92.5	169.2	2.0

Mezcla 2

Fecha Elaboración: 30/05/2016

Proporciones = 18 T + 2 C + 30 M + 8 A

Asentamiento=0 cm

Cantidad de probetas: 20

Primer ensayo: 5 probetas					Fecha: 24/06			
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σrot [kg/cm ²]
1	10.2	15.5	1276.5	1.3	998.8	63.0	115.0	1.4
2	10.3	15.1	1248.5	1.2	978.0	66.0	164.0	2.0
3	10.5	15.4	1326.8	1.4	1055.9	90.0	148.0	1.7
4	10.4	15.3	1303.1	1.3	982.3	60.0	163.0	1.9
5	10.3	15.3	1274.8	1.1	895.8	88.0	138.0	1.7
25 días	10.3	15.3	1285.9	1.3	982.2	73.4	145.6	1.7

Segundo ensayo: 10 probetas					Fecha: 27/06			
6	10.6	15.5	1367.8	1.3	943.1	74.0	135.7	1.5
7	10.5	15.2	1316.2	1.2	942.9	88.0	140.0	1.6
8	10.5	16.0	1385.4	1.3	955.7	110.0	157.0	1.8
9	10.5	15.5	1342.1	1.2	903.0	55.0	135.0	1.6
10	10.5	15.5	1342.1	1.3	1005.1	92.0	157.0	1.8
11	10.5	15.5	1342.1	1.2	877.7	78.0	103.0	1.2
12	10.5	15.5	1342.1	1.2	916.4	80.0	122.0	1.4
13	10.5	16.0	1385.4	1.3	938.3	82.0	131.0	1.5
14	10.5	16.0	1385.4	1.3	913.8	78.0	130.0	1.5
15	10.5	16.0	1385.4	1.2	871.2	64.0	105.0	1.2
28 días	10.5	15.7	1359.4	1.3	926.7	80.1	131.6	1.5

Mezcla 3

Fecha Elaboración: 13/06/2016

Proporciones = 18 T + 2 C + 30 M + 12 A

Asentamiento=9,5 cm

Cantidad de probetas: 20

Primer ensayo: 14 probetas					Fecha: 01/08			
N°	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σrot [kg/cm²]
1	10.4	15.5	1315.9	1.2	922.6	34.0	78.0	0.9
2	10.5	15.5	1332.7	1.1	861.4	68.0	76.0	0.9
3	10.3	15.5	1299.9	1.3	974.7	57.0	75.0	0.9
4	10.6	15.3	1343.5	1.2	858.9	50.0	98.0	1.1
5	10.4	15.4	1314.1	1.2	888.1	55.0	86.0	1.0
6	10.3	15.5	1291.5	1.0	754.2	48.0	76.5	0.9
7	10.4	15.0	1274.2	1.0	751.0	47.0	87.5	1.0
8	10.5	15.2	1316.2	1.0	787.1	80.0	86.5	1.0
9	10.3	15.9	1324.8	1.0	746.5	45.0	80.5	1.0
10	10.5	15.1	1307.5	1.0	761.8	70.0	95.0	1.1
11	10.4	15.5	1316.7	1.0	760.2	70.0	87.0	1.0
12	10.4	15.3	1299.7	1.0	768.6	60.0	92.5	1.1
13	10.4	15.2	1291.2	1.0	772.9	80.0	98.5	1.2
14	10.4	15.4	1308.2	1.0	752.2	68.0	75.0	0.9
49 días	10.4	15.4	1309.7	1.1	811.4	59.4	85.1	1.0

Mezcla 4

Fecha Elaboración: 08/08/2016

Proporciones = 18 T + 2 C + 30 M + 12 A

Asentamiento=1 cm

Cantidad de probetas: 21

Primer ensayo: 7 probetas Fecha: 29/08/2016								
N°	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σ_{rot} [kg/cm ²]
1	10.4	15.1	1270.4	1.1	870.6	45.0	67.5	0.8
2	10.4	15.1	1272.9	1.1	850.8	68.0	100.0	1.2
3	10.3	15.3	1262.5	1.1	861.0	56.0	73.0	0.9
4	10.2	15.1	1241.1	1.1	847.6	43.0	86.5	1.1
5	10.5	15.1	1297.6	1.1	833.1	63.0	92.0	1.1
6	10.5	14.9	1282.8	1.0	809.9	42.0	99.5	1.2
7	10.3	15.3	1282.3	1.2	904.6	63.5	97.0	1.2
21 días	10.4	15.1	1272.8	1.1	854.0	54.4	87.9	1.0
Segundo ensayo: 5 probetas Fecha: 05/09/2016								
8	10.4	15.3	1302.2	1.0	804.0	70.0	109.0	1.3
9	10.4	15.7	1323.5	1.0	770.0	56.0	93.0	1.1
10	10.3	15.4	1288.2	1.1	860.1	70.0	99.0	1.2
11	10.3	15.5	1294.0	1.0	779.0	64.0	74.0	0.9
12	10.3	15.1	1265.5	1.1	832.9	58.0	106.0	1.3
28 días	10.3	15.4	1294.7	1.0	809.2	63.6	96.2	1.1
Tercer ensayo: 5 probetas Fecha: 19/09/2016								
13	10.35	15.10	1270.42	0.988	777.70	35.0	129.0	1.53
14	10.27	15.40	1275.71	0.988	774.47	68.0	182.0	2.20
15	10.46	15.00	1288.98	1.011	784.34	68.0	209.0	2.43
16	10.25	15.50	1279.00	1.097	857.70	63.5	92.0	1.11
17	10.28	15.70	1303.09	1.055	809.61	50.0	80.5	0.97
42 días	10.322	15.34	1283.44	1.0278	800.77	56.9	138.5	1.65

Mezcla 5

Fecha Elaboración: 26/08/2016

Proporciones = 9 T + 1 C + 15 M + 4.5 A

Asentamiento=0,5 cm

Cantidad de probetas: 13

Primer ensayo: 5 probetas Fecha: 02/09/2016								
N°	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σ_{rot} [kg/cm ²]
1	10.5	15.2	1326.2	1.4	1059.4	130.0	156.0	1.8
2	10.4	15.5	1324.3	1.4	1081.3	96.0	162.5	1.9
3	10.5	15.2	1316.2	1.4	1034.8	128.0	145.0	1.7
4	10.5	15.1	1307.5	1.4	1042.4	123.0	148.0	1.7
5	10.6	15.3	1350.2	1.3	993.2	100.0	145.0	1.6
7 días	10.5	15.3	1324.9	1.4	1042.2	115.4	151.3	1.7

Segundo ensayo: 5 probetas					Fecha: 23/09/2016			
6	10.0	14.6	1142.1	1.1	1003.4	96.5	245.5	3.1
7	10.3	15.3	1282.3	1.2	958.5	115.5	229.5	2.7
8	10.4	15.0	1284.1	1.3	1003.9	128.5	219.0	2.6
9	10.5	15.2	1306.2	1.3	992.2	115.0	243.5	2.8
10	10.4	15.1	1277.8	1.2	946.2	151.5	218.5	2.6
28 días	10.3	15.0	1258.5	1.2	980.8	121.4	231.2	2.8

Mezclas 2017

Mezclas 1

Fecha Elaboración: 04/05/2017

Proporciones = 9 T + 1 C + 10 M + 5 A

Asentamiento=9.5 cm

Cantidad de probetas: 10

MEZCLA N° 1								
Primer ensayo: 5 probetas					Fecha:01-06-2017			
N°	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σrot [kg/cm ²]
1	10.3	15.4	1275.7	1.5	1152.9	89.0	174.0	2.1
2	10.3	15.3	1274.8	1.4	1101.7	113.0	200.5	2.4
3	10.4	15.2	1283.8	1.4	1116.5	142.5	178.5	2.1
4	10.3	14.5	1208.2	1.3	1092.5	88.5	180.5	2.2
5	10.4	15.0	1279.1	1.4	1127.4	121.0	167.0	2.0
28 días	10.3	15.1	1264.3	1.4	1118.2	110.8	180.1	2.1
Segundo ensayo: 5 probetas					Fecha:08-06-2017			
1	10.3	15.2	1271.4	1.4	1080.2	165.0	212.0	2.5
2	10.3	15.5	1284.0	1.4	1068.9	95.0	185.0	2.2
3	10.5	15.2	1308.7	1.3	1020.8	100.0	213.5	2.5
4	10.4	14.8	1247.6	1.4	1094.8	131.0	209.5	2.5
5	10.3	15.1	1248.4	1.4	1083.0	145.0	204.0	2.5
35 días	10.3	15.2	1272.0	1.4	1069.5	127.2	204.8	2.4

Mezcla 2

Fecha Elaboración: 01/06/2017

Proporciones = 9 T + 1 C + 10 M + 5.5 A

Asentamiento= 11.7 cm

Cantidad de probetas: 5

Primer ensayo: 5 probetas					Fecha:15-06-2015			
N°	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σrot [kg/cm ²]
1	10.2	15.4	1248.5	1.6	1270.1	110.0	247.5	3.1
2	10.4	15.6	1312.5	1.6	1218.8	167.5	250.0	3.0
3	10.5	15.5	1339.6	1.6	1200.5	149.0	254.0	2.9
4	10.4	15.1	1270.4	1.5	1212.6	171.5	294.0	3.5
5	10.3	15.2	1264.0	1.6	1264.9	157.5	281.5	3.4
14 días	10.3	15.4	1287.0	1.6	1233.4	151.1	265.4	3.2

Mezcla 3

Fecha Elaboración: 05/06/2017

Proporciones = 9 T + 1 C + 10 M + 4.5 A

Asentamiento= 2 cm

Cantidad de probetas: 5

Primer ensayo: 5 probetas					Fecha:15-06-2015			
N°	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σ_{rot} [kg/cm ²]
1	10.2	16.0	1294.6	1.7	1318.8	227.0	304.0	3.8
2	10.2	15.3	1255.1	1.7	1323.2	237.0	303.5	3.7
3	10.3	15.9	1330.0	1.7	1288.1	208.5	255.0	3.0
4	10.3	15.4	1285.7	1.7	1343.5	175.0	324.5	3.9
5	10.4	16.0	1346.1	1.8	1309.1	243.0	323.0	3.8
9 días	10.3	15.7	1302.3	1.7	1316.5	218.1	302.0	3.6

Mezclas 2019

Mezcla 1

Fecha Elaboración: 16/01/2019

Proporciones = 18 T + 2 C + 20 M + 13 A

Asentamiento= 12,3 cm

Cantidad de probetas: 20

Primer ensayo: 5 probetas					Fecha: 23/01/2019			
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σrot [kg/cm ²]
1	10.4	15.5	1307.9	1.5	1135.7	109.0	144.0	1.7
2	10.6	15.3	1342.6	1.5	1112.1	102.0	157.5	1.8
3	10.4	15.5	1319.2	1.4	1091.7	119.0	156.0	1.8
4	10.4	15.1	1270.4	1.4	1141.0	103.5	156.0	1.9
5	10.4	15.3	1304.7	1.5	1133.2	101.0	180.5	2.1
7 días	10.4	15.3	1309.0	1.5	1122.7	106.9	158.8	1.9
Segundo ensayo: 5 probetas					Fecha: 30/01/2019			
1	10.4	15.1	1272.9	1.3	1018.2	78.0	112.0	1.3
2	10.3	15.5	1301.6	1.3	1035.1	97.0	125.5	1.5
3	10.4	15.2	1296.2	1.3	1009.4	93.0	129.0	1.5
4	10.3	15.4	1280.7	1.3	1023.7	58.0	138.0	1.7
5	10.3	15.2	1276.4	1.3	1027.4	80.0	165.5	2.0
14 días	10.4	15.3	1285.5	1.3	1022.8	81.2	134.0	1.6

Tercer ensayo: 6 probetas					Fecha: 13/02/2019			
1	10.3	15.5	1294.0	1.3	974.5	99.5	145.5	1.7
2	10.3	15.6	1299.8	1.3	970.1	61.0	148.5	1.8
3	10.3	15.3	1265.0	1.3	996.9	79.0	164.5	2.0
4	10.3	14.9	1239.1	1.3	1017.7	101.5	172.5	2.1
5	10.2	15.3	1257.6	1.3	1002.7	100.5	177.0	2.2
6	10.2	14.9	1227.1	1.3	1027.6	117.5	190.5	2.3
28 días	10.3	15.3	1263.8	1.3	998.3	93.2	166.4	2.0

Mezcla 2

Fecha Elaboración: 25/07/2019

Proporciones = 22,5 T + 2,5 C + 25 M + 15 A

Asentamiento= 12 cm

Cantidad de probetas: 24

Primer ensayo: 5 probetas Fecha: 08/08/2019								
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σ _{rot} [kg/cm ²]
1	10.5	15.2	1303.7	1.4	1044.6	32.0	54.0	0.6
2	10.5	15.6	1358.5	1.4	1013.3	29.5	43.0	0.5
3	10.4	15.6	1322.7	1.4	1058.3	45.0	74.0	0.9
4	10.3	15.6	1289.8	1.4	1060.3	43.0	45.5	0.6
5	10.4	15.2	1287.0	1.3	1044.2	39.0	64.5	0.8
14 días	10.4	15.4	1312.3	1.4	1044.1	37.7	56.2	0.7
Segundo ensayo: 5 probetas Fecha: 15/08/2019								
1	10.3	15.5	1301.6	1.3	983.1	38.5	54.0	0.6
2	10.3	15.4	1290.7	1.3	1037.0	39.5	80.0	1.0
3	10.1	15.3	1233.1	1.3	1015.6	41.0	64.5	0.8
4	10.3	15.4	1275.7	1.3	1038.9	44.5	88.0	1.1
5	10.6	15.2	1328.7	1.3	966.4	33.5	73.5	0.8
21 días	10.3	15.4	1286.0	1.3	1008.2	39.4	72.0	0.9

Tercer ensayo: 5 probetas Fecha: 23/08/2019								
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σ _{rot} [kg/cm ²]
1	10.3	15.4	1283.2	1.3	982.4	28.5	90.0	1.1
2	10.3	16.0	1333.2	1.2	933.0	40.0	66.0	0.8
3	10.4	15.9	1353.3	1.3	935.7	27.0	86.0	1.0
4	10.4	15.8	1331.9	1.3	958.9	26.0	61.5	0.7
5	10.4	15.3	1307.2	1.3	959.1	37.5	89.5	1.0
28 días	10.4	15.7	1321.7	1.3	953.8	31.8	78.6	0.9

Cuarto ensayo: 5 probetas Fecha: 29/08/2019								
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σ _{rot} [kg/cm ²]
1	10.3	15.6	1300.7	1.2	936.5	42.5	86.5	1.0
2	10.4	15.4	1308.2	1.2	929.4	52.5	84.5	1.0
3	10.4	15.1	1282.7	1.2	935.4	41.0	85.5	1.0
4	10.4	15.2	1288.7	1.2	962.7	31.0	81.0	1.0
5	10.2	15.7	1290.4	1.2	956.8	27.5	84.0	1.0
35 días	10.3	15.4	1294.2	1.2	944.2	38.9	84.3	1.0

Mezcla 3

Fecha Elaboración: 06/09/2019

Proporciones = 18 T + 2 C + 20 M + 8 A

Asentamiento= 0 cm

Cantidad de probetas: 16 aprox

Primer ensayo: 4 probetas Fecha: 23/09/2019								
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σ _{rot} [kg/cm ²]
1	10.4	15.5	1314.2	1.3	961.9	67.5	134.5	1.6
2	10.5	15.5	1329.4	1.3	1006.2	58.0	115.5	1.3
3	10.3	15.5	1291.5	1.3	1021.2	49.0	96.0	1.2
4	10.4	15.5	1324.3	1.3	976.4	54.0	119.0	1.4
14 días	10.4	15.5	1314.8	1.3	991.4	57.1	116.3	1.4

Segundo ensayo: 4 probetas Fecha: 30/09/2019								
1	10.5	15.5	1329.4	1.2	912.6	54.0	105.5	1.2
2	10.4	15.3	1294.7	1.2	925.6	42.0	113.0	1.3
3	10.5	15.4	1343.7	1.3	938.3	35.0	133.5	1.5
4	10.4	15.4	1308.2	1.2	941.1	64.5	120.0	1.4
21 días	10.4	15.4	1319.0	1.2	929.4	48.9	118.0	1.4

Tercer ensayo: 5 probetas Fecha: 07/10/2019								
1	10.2	15.5	1276.5	1.2	922.4	53.5	128.5	1.6
2	10.3	15.3	1279.8	1.2	908.6	65.0	157.5	1.9
3	10.5	15.4	1338.6	1.1	837.6	44.5	119.0	1.4
4	10.3	15.5	1291.5	1.2	899.3	57.0	112.0	1.3
5	10.5	15.4	1341.1	1.2	916.5	35.0	112.0	1.3
28 días	10.4	15.4	1305.5	1.2	896.9	51.0	125.8	1.5

Mezcla 4

Fecha Elaboración: 16/09/2019

Proporciones = 18 T + 2 C + 12 M + 9 A

Asentamiento= 9 cm

Cantidad de probetas: 13 + 1 adobe

Primer ensayo: 4 probetas Fecha: 30/09/2019								
Nº	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Volumen [cm ³]	Peso [kg]	Densidad [kg/m ³]	Pf [kg]	Pu [kg]	σrot [kg/cm ²]
1	10.3	15.4	1285.7	1.4	1098.8	100.0	131.5	1.6
2	10.4	15.5	1304.1	1.4	1101.2	80.5	113.0	1.3
3	10.3	15.4	1285.7	1.4	1127.6	62.5	98.5	1.2
4	10.3	16.0	1338.3	1.5	1088.2	75.5	119.8	1.4
14 días	10.3	15.6	1303.4	1.4	1104.0	79.6	115.7	1.4
Segundo ensayo: 4 probetas Fecha: 14/10/2019								
1	10.2	15.3	1255.1	1.3	1065.4	73.0	100.5	1.2
2	10.3	15.0	1245.0	1.3	1077.8	73.0	110.0	1.3
3	10.5	15.3	1327.4	1.4	1032.9	42.5	110.5	1.3
4	10.4	15.4	1315.8	1.3	962.0	0.0		0.0
28 días	10.4	15.3	1285.8	1.3	1034.5	62.8	107.0	1.3