

INVESTIGACIÓN

INVESTIGACIÓN

2007



**BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA
(BTC) SIN ADICION DE CEMENTO**

FUNDACIÓN MAPFRE

www.fundacionmapfre.com

IN

Autor

Dr. Fernando Galíndez

Ingeniero en construcciones

Título de Profesor Universitario y Postgrado de Metodología de la Investigación

Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Católica de Salta

Índice

1.	Resumen del proyecto	6
2.	Introducción y antecedentes	6
2.1.	Problemática a resolver	6
2.2.	Antecedentes	9
2.3.	Marco teórico	10
3.	Objetivos	13
3.1.	Objetivo general	13
3.2.	Objetivos específicos	13
3.3.	Propósito	13
4.	Materiales y metodología	14
4.1.	Diseño de los procedimientos	14
4.2.	Hipótesis	15
4.2.1.	Hipótesis sustantiva	15
4.2.2.	Hipótesis de trabajo	15
5.	Resultados	16
5.1.	Recolección de datos en laboratorio	16
5.1.1.	Tareas realizadas en esta fase	16
5.1.2.	Ensayos a la compresión	18
5.1.3.	Ensayos de absorción de agua	18
5.1.4.	Ensayo de abrasión hídrica	19
5.1.5.	Determinación de contracción lineal – Método de Alcock	20
5.2.	Clasificación de tierra tipo T1	21
5.2.1.	Granulometría	21
5.2.2.	Determinación límite líquido	21
5.2.3.	Determinación límite plástico	21
5.3.	Clasificación de tierra tipo T2	22
5.3.1.	Granulometría	22
5.3.2.	Determinación límite líquido	22
5.3.3.	Determinación límite plástico	23

5.4.	Clasificación de tierra tipo T3 desechada	23
5.4.1.	Determinación límite líquido	23
5.4.2.	Determinación límite plástico	25
5.5.	Clasificación de tierra tipo T3	25
5.5.1.	Granulometría	25
5.5.2.	Determinación límite líquido	25
5.5.3.	Determinación límite plástico	27
5.6.	Ensayo proctor y de compresión tierra tipo T1	27
5.6.1.	Ensayo proctor tierra T1 6 kg/cm ²	27
5.6.2.	Ensayo proctor tierra T1 8 kg/ cm ²	28
5.6.3.	Ensayo compresión T1 4kg/cm ²	28
5.6.4.	Ensayo compresión T1 6kg/cm ²	29
5.6.5.	Ensayo compresión T1 8kg/cm ²	29
5.7.	Ensayo proctor y de compresión tierra tipo T2	30
5.7.1.	Ensayo proctor tierra T1 4 kg/cm ²	30
5.7.2.	Ensayo proctor tierra T1 8 kg/ cm ²	30
5.7.3.	Ensayo compresión T1 4kg/cm ²	31
5.7.4.	Ensayo compresión T1 6kg/cm ²	31
5.7.5.	Ensayo compresión T1 8kg/cm ²	32
5.8.	Ensayo proctor y de compresión tierra tipo T3	33
5.8.1.	Ensayo proctor tierra T1 8 kg/cm ²	33
5.8.2.	Ensayo compresión tierra T1 8 kg/ cm ²	33
5.9.	Índice de plasticidad – Tipo de suelo	34
5.10.	Resistencia media a la compresión – Índice de plasticidad	34
5.11.	Ensayos absorción de agua	36
5.11.1.	Ensayos absorción de agua tierra T1	36
5.11.2.	Ensayos absorción de agua tierra T2	37
5.11.3.	Ensayos absorción de agua tierra T3	38
5.12.	Ensayos de abrasión hídrica por goteo	38
5.12.1.	Ensayos de abrasión hídrica por goteo tierra TI	38
5.12.2.	Ensayos de abrasión hídrica por goteo tierra TII	39
5.12.3.	Ensayos de abrasión hídrica por goteo tierra TIII	39
5.13.	Ensayo de Alcock	40

5.14. Desarrollo máquina bloquera	40
5.14.1. Etapas del desarrollo	40
5.14.2. Componentes de la máquina bloquera	42
5.14.3. Resultados funcionamiento máquina bloquera	42
6. Discusión	42
7. Conclusiones	48
8. Bibliografía	48

1. RESUMEN

Esta investigación estudia un material alternativo, bloque de tierra cruda comprimido (BTC) sin adición de cemento, para la construcción de muros. La eliminación del cemento de la mezcla base del mampuesto BTC, responde fundamentalmente a dos razones, una económica por cuanto el precio del cemento encarece el costo del mismo y otra ambiental que tiene que ver con el impacto que produce el proceso de fabricación del cemento, lo cual añade un costo ambiental al bloque de suelo-cemento, a pesar de tener mucho menor impacto ambiental que los ladrillos de tierra cocida, habida cuenta que el material es crudo.

Este mampuesto de tierra cruda elimina en su fabricación la etapa de cocción, que implica la mayor afectación ambiental, no sólo por la emisión de contaminantes a la atmósfera (con su correspondiente aporte al efecto invernadero) sino también por el consumo de recursos no renovables (leña de bosques nativos y gas natural) en la producción de las importantes cantidades de energía requeridas en el proceso, a la vez que elimina también el uso de aditivos artificiales (cemento, cal, asfalto, etc.) que también tienen un costo importante desde el punto de vista del ambiente.

Para el desarrollo de la investigación se propuso trabajar con tres tipos distintos de tierras arcillosas, compactadas a tres presiones diferentes: 4 kg/cm², 6 kg/cm² y 8 kg/cm², a fin de demostrar que a mayor plasticidad de la tierra, sometida a su vez a mayor presión de compactación, la resistencia a la compresión del mampuesto aumenta.

A su vez se propuso, a fin de solucionar la sensibilidad del material ante la presencia de agua, una impermeabilización del mismo con aceite para vehículos usado.

Finalmente se demostró empíricamente que los mampuestos tipo BTC realizados con tierras Areno-Arcillosas de mediana plasticidad, debidamente compactados e impermeabilizados con aceite usado de vehículos, constituyen un mampuesto confiable para la construcción.

Generalmente para la fabricación de los BTC se considera que las tierras con mucho contenido de arcillas no son aptas, debido a que para obtener resistencias aceptables se debe adicionar mayor cantidad de cemento que a las tierras arenosas. Esto se refleja por ejemplo en las Normas IRAM que especifican que para la fabricación de suelo cemento en caso de suelos arcillosos se debe adicionar hasta el 15% de cemento. Debido a esto quedan excluidos en la fabricación de BTC grandes cantidades de suelos, a menos que tengamos la posibilidad de adicionarlos con arenas o lo que es peor con mayor cantidad de cemento. Esto a su vez implica mayores costos económicos y ambientales.

La posibilidad de aprovechar la cualidad de las arcillas como aglomerante natural y evitar la adición de cemento al mampuesto, recurriendo a la estabilización por compactación y hacerlo mediante métodos que garanticen

el cumplimiento de las premisas teóricas en fábrica o en obra, será el principal aporte de la presente investigación, en concordancia con un nuevo paradigma de desarrollo de materiales de construcción más sustentables.

También se desarrolla en esta investigación una máquina bloquera hidráulica manual, para obtener mayores presiones de compactación que las tradicionales a palanca.

2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

2.1. Problemática a resolver

El deterioro ambiental que viene agravándose en las últimas décadas en todo el mundo, afecta fundamentalmente a la naturaleza, a través de elevados niveles de explotación de los recursos naturales (incluyéndose en ellos el suelo fértil), contaminación de la atmósfera y agotamiento y contaminación de los recursos hidrológicos, todos ocasionados por la acción antrópica.

Como consecuencia, no sólo se alteran los ecosistemas, sino que en muchos casos se pone en riesgo la salud humana o se producen importantes pérdidas en la calidad de vida de determinados sectores.

Ante esta situación, los temas relacionados con el cuidado del medio ambiente empiezan a movilizar a importantes sectores, no sólo gubernamentales sino también de la propia sociedad civil y se comienza a pensar en una nueva forma de actuar hacia el futuro, basada en los principios del desarrollo sustentable, que está asumiendo un carácter estratégico en ciertos sectores de la producción, ayudándolos a conquistar nuevos mercados de una economía cada vez más globalizada.

Particularmente, el sector de la construcción es responsable de grandes aportaciones económicas y sociales a través de la producción de bienes y servicios. Históricamente, este sector ha requerido de grandes cantidades de materias primas y energía, lo que consecuentemente provoca grandes cantidades de emisiones gaseosas, líquidas y sólidas, contaminantes del medio ambiente.

En la Tabla 1 siguiente se analizan los potenciales impactos al medio ambiente de los productos de construcción, en general:

En la Argentina, el ladrillo cocido es uno de los insumos más utilizados en la construcción, sobre todo en las grandes ciudades, donde es prácticamente el único material empleado para los muros.

Esos ladrillos se fabrican con arcilla y agua y son sometidos a cocción, utilizando energías no renovables (leña de bosques nativos, en el caso de los artesanales y gas u otro combustible en el caso de los industriales).

Los diferentes sistemas constructivos no han logrado reemplazar, a lo largo del tiempo, la utilización del ladrillo en la construcción, sobre todo en Latinoamérica. Esto se debe a dos causas fundamentales, una económica, ligada

PRODUCTO	CICLO DE VIDA		
	Producción	Uso y mantenimiento	Reintegración
Edificio u obra civil	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de energía y recursos en los procesos constructivos Producción de ruidos y vibraciones Producción de residuos por excedentes de obra y embalajes Emisiones de partículas al aire (por ej: polvo) Impacto visual	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de energía y recursos naturales, en función de la naturaleza de uso y vida útil Producción de ruidos y vibraciones, en función de la naturaleza de uso y vida útil Producción de residuos (desechos, aguas residuales y sustancias tóxicas), en función de la naturaleza de uso y vida útil Perturbación del entorno (tránsito, estacionamiento, etc.), en función de la naturaleza de uso y vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> Consumo de energía en los procesos de demolición Producción de ruidos y vibraciones Emisiones de partículas al aire (por ej: polvo) Producción de residuos por demolición descontrolada o selección para reciclado Consumo de energía en los procesos de transporte, selección y reciclado Impacto visual

Tabla 1. Impacto al medio ambiente de los productos de construcción.

a los costos del mismo y otra cultural, vinculada a la identificación histórica de este material con un cierto “status”. Su fabricación no demanda una tecnología sofisticada ni tampoco mano de obra calificada (Muller, M, 1997). Estas condiciones de consumo, como así también de producción, se mantienen en la actualidad debido a que no se están internalizando los costos ambientales de las externalidades producidas por la actividad a nivel de impacto ambiental.

Los efectos ambientales más importantes de esta actividad ladrillera son:

- Inducción de inundaciones.
- Cambios en el nivel freático.
- Peligro de salinización.
- Alteración de ecosistemas.
- En la zonas de explotación y tratamiento desaparecen la fauna y flora.
- Contaminación de aguas subterráneas y superficiales. Los ladrillos antes de ser cocidos en el horno, se dejan secar, ya moldeados, 2 días a la intemperie. Si durante esos dos días llueve, habrá un arrastre de material hacia los cursos de agua cercanos.
- Emisión de gases, polvo y partículas. La combustión de la leña produce dióxido de carbono, monóxido de carbono, vapor de agua y partículas finas en suspensión (hollín).
- Pérdida de tierras productivas.
- Transformación de estas áreas en zonas de relleno.
- Inducción de erosión.
- Alteración morfológica (cavas, montículos).
- Inestabilidad de pendientes.
- Impacto visual en el paisaje.
- Inapropiado uso del suelo una vez finalizada la actividad (basurales clandestinos).
- Impacto sobre las poblaciones humanas adyacentes (Gallego Valcarce, E: L. Valdillo Fernández, 1992).
- Ocupación de terreno por infraestructura e instalaciones.

- Emisión de ruido.
- Aumento del tráfico pesado.

Para evaluar medioambientalmente al sector de la construcción, se requiere reconocer, cuantificar y calificar tanto los recursos consumidos, como las emisiones generadas en las distintas etapas de los procesos.

La preocupación por la protección ambiental y los posibles impactos de los productos y servicios, ha llevado a desarrollar diferentes métodos para comprender mejor y evaluar estos impactos. Uno de ellos es el Análisis de Ciclo de Vida. El mismo ha demostrado una adecuada capacidad para valorar y evaluar los impactos potenciales al ambiente ocurridos durante el ciclo de vida completo de un producto o proceso. Además se presenta como una herramienta efectiva de apoyo a la gestión ambiental.

La importancia de esta forma de analizar los sistemas (desde la cuna a la tumba) surgió al comprender que un determinado proceso industrial podía parecer más limpio que otro simplemente porque transfiere la contaminación a otra región geográfica.

Siguiendo los criterios de selección de materiales medioambientalmente correctos planteados por Fábregas (1998) se podría decir que el bloque de tierra comprimida sin cemento cumple con todos los requerimientos:

Ahorro energético: en el proceso de fabricación principal del bloque sólo hay gasto de transporte de la tierra dentro de la obra, hecho habitual ya que la tierra es un material al alcance de casi todos los proyectos. Además, hay que considerar que si la tierra proviene de los trabajos de excavación de la propia obra, el gasto energético consecuente queda repartido. Por otra parte, térmicamente es un material muy ventajoso que presentará gran ahorro energético en la climatización.

Valorización de residuos: que implica no sólo la utilización de desechos de otras industrias, sino también la posibilidad de reciclado del propio bloque de tierra, una vez concluida su vida útil.



Figura 1. Fotografía impronta dejada por una cantera de arcilla para ladrillos - Salta, Argentina.

ÁMBITOS RELACIONADOS	FORMA DE INTENSIFICACIÓN DE INCIDENCIA
Extracción de materias primas y combustibles	<ul style="list-style-type: none"> • Destrucción del paisaje • Intensificación de la erosión • Almacenamiento de residuos en canteras antiguas • Contaminación de las aguas
Eliminación de residuos sólidos y líquidos	<ul style="list-style-type: none"> • Evacuación de materiales sedimentados provenientes de residuos sólidos, por ejemplo polvo de filtros • Contaminación causada por aguas residuales.
Mantenimiento de talleres y medios de transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Peligro de la manipulación de sustancias contaminantes en el agua (ejemplo: disolventes)

Tabla 2. Impactos ambientales de la actividad ladrillera según etapas del proceso de fabricación



Figura 2. Fotografía cantera de arcilla para ladrillos abandonada – Salta, Argentina

Tecnología limpia: durante el proceso de fabricación del bloque no se produce ningún tipo de contaminación, ni acústica, ni gaseosa ni térmica, sólo se producen los residuos de las mermas que son a la vez reciclables posteriormente como áridos y tierra inerte para construir nuevos bloques.

Ausencia de toxicidad: durante el transcurso de su vida útil el material no desprende ningún tipo de radiación ni producto tóxico.

Durabilidad: es un material durable y de fácil mantenimiento; no sufrirá el ataque de microorganismos si se elige el revestimiento adecuado

El impacto que provoca el bloque de tierra comprimida como árido, sobre la salud humana, proveniente del reciclaje durante su proceso de construcción, es nulo. Ecológicamente el único impacto ambiental que se produce es el propio de cada uno de los materiales que entran en el proceso, ya que la fabricación es manual.

La valoración del impacto sobre los recursos se encuentra en un caso similar, añadiendo la extracción de la tierra como explotación de recurso, pero siendo ésta mínima por la abundancia del material y las escasas exigencias en cuanto a composición del mismo.

Por último, la economía del material brinda una alternativa al déficit habitacional, sobre todo en los países de Latinoamérica, donde alrededor de 135 millones de personas no cuentan con una vivienda digna y por otro lado, plantea un acercamiento a una construcción más sostenible, primer postulado consagrado en el Programa Hábitat II.

Por la facilidad de fabricación es, además un material apto para la autoconstrucción o la construcción asistida, lo cual aumenta sus posibilidades de utilización en la construcción de viviendas para población de escasos recursos.

2.2. Antecedentes

A partir de las últimas décadas del Siglo XX la construcción en tierra cruda experimentó, por diversos motivos, un lento renacimiento. Algunos sectores académicos vieron la necesidad de profundizar en el desarrollo de la tecnología de la construcción con tierra cruda. En el mundo desarrollado se puede destacar la tarea realizada por los franceses y alemanes y en América Latina se destacan los mexicanos y peruanos y particularmente en Argentina las Universidades de Buenos Aires, San Juan, Tucumán (Grupo Tierra Tucumán – F.A.U.). En la Universidad Cató-

lica de Salta, la Facultad de Arquitectura y Urbanismo a través de la cátedra de Materiales y Técnicas Regionales desarrolló el proyecto del Barrio Ecosol (60 viviendas de adobe estabilizado con cemento), en Rosario de Lerma, Provincia de Salta.

En particular se pueden citar las siguientes investigaciones desarrolladas en Argentina y México, en los últimos años, referentes a mampuestos de Suelo cemento:

- Propiedades mecánicas de la mampostería de bloques comprimidos de Tierra-Cemento. F.A.U. – U.N.T.

El estudio realizado, demuestra que es posible alcanzar los valores mínimos exigidos por las Normas INPRES-CIRSOC, PARTE 3, referidas a construcciones sismorresistentes de mampostería.

- La absorción de agua en bloques comprimidos de tierra-cemento. F.A.U. – U.N.T.

La absorción de agua de probetas de tierra-cemento comprimidas, sin recubrimiento o incorporación de hidrófugos, alcanza valores entre el 10% y el 14% del peso original en estado seco.

- Utilización de ladrillos de adobes estabilizados con cemento Pórtland al 6% y reforzados con fibras de Coco. U.N.A.M. – Mexico.

El mejor porcentaje de fibra de coco, para el refuerzo de ladrillo de adobe es el 1%, ya que porcentajes mayores afectan a la resistencia a la compresión. El refuerzo de fibra de coco sólo mejora la resistencia a la flexión. Los resultados obtenidos con prensa hidráulica son mejores a los obtenidos con prensas manuales.

- Producción de ladrillos de suelo-cemento, una alternativa eficiente, económica y sustentable. CONICET – CEVE – U.N.C.

Se comparan tres tipos de mampuestos a través de algunas de sus propiedades, el ladrillo de suelo cemento compactado a presión (LSCP), el ladrillo de suelo cemento compactado por impacto (LSCI) y Ladrillos cerámicos comunes (LCC).

- Comportamiento termohidrófugo de bloques comprimidos de tierra-cemento. F.A.U. – U.N.T.

La mampostería de suelo cemento presenta un comportamiento térmico eficiente en la zona bioclimática estudiada, para espesores entre 0,14m y 0,29m., alcanzando valores recomendados para 0,29m., tanto para verano como para invierno. Esta situación no puede ser igualada con mampostería de ladrillos cerámicos macizos comunes y menos aún con bloques huecos de hormigón. No existe el riesgo de condensación superficial.

Tipo	Regularidad dimensional	Textura	Color	Peso específico Kg/m ³	Resistencia Compresión Kg/cm ²	Absorción Humedad %Peso
LSCP	Estable	Suave al tacto	Gris tierra	1.852	121,80	4,85
LSCI	Estable	Aspera al tacto	Gris tierra	1.665	7,80	7,5
LCC	Inestable	Rugosa	Rojiza	1.519	78,00	2,1

Tabla 3. Análisis comparativo de mampuestos de suelo cemento y ladrillos cerámicos comunes.

- Edificación con Tierra Armada. Sistema CET. J. L. de Olarte y otros. Comunidad de Madrid. D.G. de Arquitectura. Colección de Documentos Técnicos.

Ensayo de materiales variando la composición granulométrica. Se tomaron varias muestras de suelo, se mantuvo constante el contenido de Limos (15%), variando el contenido de arcilla y arena. La proporción más adecuada, en cuanto a la resistencia a la compresión, entre arena y arcilla fluctúa entre el 50% al 70% de arena y el 15% al 20% de arcilla. La retracción se debe en gran medida a la presencia de Arcilla. Los suelos que más se retraen son los que tienen un índice de Plasticidad elevado, un límite líquido alto y aquellos que tienen en su composición entre un 20% y un 40% de arcilla.

- BARRIO ECOSOL, construcción de 60 Viviendas de adobe estabilizado con cemento. Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Católica de Salta. Arq. Gabriela Polliotto – Ing Fernando Galíndez.

De la experimentación y observación durante la fabricación de aproximadamente 240.000 adobes de suelo cemento se llegó a las siguientes conclusiones:

- a) Se obtuvieron mampuestos con mejor comportamiento ante el intemperismo aquellos fabricados teniendo en cuenta el correcto mezclado de la tierra con el cemento durante la fabricación, humedad controlada, un buen prensado y sobre todo mucho cuidado en el curado, no permitiendo la pérdida de humedad prematura antes de los 7 días de fabricación.
 - b) De los suelos utilizados: excavación de cimientos, nivelación de calles, nivelación de un terreno vecino y canalización en el pueblo, todos dieron buenos resultados.
- Aportes a la Tecnología para la fabricación de BTC. Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Católica de Salta. Ing. Fernando Galíndez.

Esta investigación estuvo orientada al análisis y validación de técnicas de fabricación de bloques de tierra comprimida, para el caso de suelos arcillosos, obteniendo comportamientos físicos y mecánicos recomendables, adicionando un 5% de cemento en peso y aplicando presión de compactación adecuada.

Existen probadas experiencias del buen funcionamiento de los bloques comprimidos de suelo-cemento, sin embargo no se han hallado investigaciones sobre el comportamiento de los bloques sin cemento.

2.3. Marco teorico

En los últimos años, la creciente conciencia sobre la protección del medio ambiente ha puesto de manifiesto la necesidad que todos los sectores productivos, incluyendo el de la construcción, concentren esfuerzos en controlar y reducir su participación en las acciones que contribuyan a dañar el medio ambiente, dada la limitada capacidad de soporte del planeta.

Esta nueva forma de producir, sin frenar el desarrollo y sin comprometer la sostenibilidad, necesita incorporarse

en todo el colectivo social (productivo, usuario final, administración pública), para dar en forma conjunta, respuestas satisfactorias a través de actitudes más respetuosas con el ambiente.

Augenbroe (1998), por ejemplo, sugiere que el sector de la construcción comience a modificar su forma de trabajo, contemplando la satisfacción del usuario, el menor consumo de materia y energía y el menor impacto medioambiental, tal como se esquematiza en la figura que sigue:

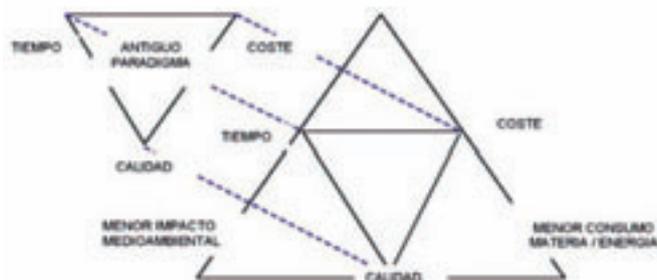


Figura 3. Diagrama nuevo paradigma hacia una construcción sustentable (Augenbroe, 1998).

Algunos criterios medioambientales para acceder a una selección del material de construcción medioambientalmente correcto, se resumen en la tabla 4.

En el caso particular del ladrillo, cuyas afectaciones ambientales se pretende minimizar con el desarrollo de materiales alternativos, el Arq. Elio Di Bernardo ha realizado un análisis del costo energético de la fabricación del ladrillo cocido en la ciudad de Rosario (Santa Fe – Argentina) en el cual plantea que el mismo, sin incluir la extracción de la tierra, es de 1,3 a 2,3MJ/unidad, es decir de 0,56 a 1MJ/Kg. A través de un simple análisis de una vivienda estándar de 53 m² construida por el Estado para los sectores más carenciados de la sociedad, llega al costo energético total de la mampostería de 24000 a 33000Mj, con un volumen de 17 a 20 m³ de ladrillos aproximadamente, lo cual implica una decapitación del suelo productivo de 34 a 40 m² por vivienda (considerando una profundidad de 50cm.). Llevado a escala de toda la ciudad, concluye que la decapitación del suelo llegaría al orden de 1200 a 1500ha, sin considerar que se construyen viviendas de mayor superficie, que por tanto consumen mayor cantidad de ladrillos. Esta superficie de suelo fértil decapitado podría servir para alimentar a aproximadamente 120.000 a 150.000 familias de 5 miembros, de todas las hortalizas (Di Bernardo, E; Perone, D, 1984).

De este sencillo análisis puede apreciarse que la magnitud del problema de la fabricación de ladrillos no es menor.

Pensar en la recuperación de este suelo no tiene sentido, menos aún si se analizan los costos.

“La recuperación de la fertilidad, de un suelo, del cual se han decapitado sus horizontes a, b y en algunos casos hasta parte del c, es muy difícil, altamente difícil, y en

CRITERIOS	JUSTIFICACIÓN
1. Recursos renovables	<ul style="list-style-type: none"> Los materiales elaborados con materias primas y energías renovables o muy abundantes son preferibles, antes que otros que utilizan fuentes convencionales o escasas (por ej: combustibles fósiles, minerales escasos, etc.) debido al carácter preservante y efecto biodegradable de sus fuentes materiales.
2. Ahorro energético	<ul style="list-style-type: none"> El balance energético del material debe demostrar ser el producto con menor coste energético a lo largo de su ciclo de vida, principalmente cuando se compara con otro, bajo los mismos criterios.
3. Valorización de residuos	<ul style="list-style-type: none"> El uso de materiales elaborados con residuos, reutilización o reciclaje de subproductos de la construcción, frente a otros materiales con fuentes de materias primas convencionales deben ser potenciados.
4. Industrialización	<ul style="list-style-type: none"> Los productos estándar montados industrialmente que disponen de un balance en su ciclo de vida racional, y principalmente, desde el punto de vista económico, son más favorables.
5. Tecnología "limpia"	<ul style="list-style-type: none"> Todas las fuentes de materias primas y energías empleadas en la producción del material, tal como, la eficiencia del proceso productivo (extracción, transformación y acabados) deben asumir el carácter no contaminante.
6. Toxicidad	<ul style="list-style-type: none"> La ausencia de efectos alérgicos, emisiones tóxicas, anomalías electromagnéticas y minimización de radioactividad natural constituyen un criterio básico para la selección del material.
7. Durabilidad	<ul style="list-style-type: none"> Todas las informaciones acerca del valor funcional, durabilidad y bases de mantenimiento para que el producto resista adecuadamente bajo las condiciones de uso, durante toda su vida útil, son valores fundamentales como criterio selectivo.

Tabla 4. Criterios aplicables a la selección de materiales de construcción medioambientalmente correctos. (Fábregas, et. al., 1998).

términos humanos casi imposible. Posiblemente en escala biogeoquímica, existiría esta factibilidad pero escaparía realmente a nuestra escala temporal".

"Los cambios producidos, modifican de una forma u otra, la estructura del perfil del suelo, que no será posible recuperar en términos ecológicos y productivos en la escala comentada".

"Si por ejemplo, en cambio, se pretendiera recuperar la fertilidad perdida, los costos de tal proceso, serían inalcanzables para nuestras posibilidades, y en un análisis costo beneficio desde la economía, siempre brindarían indicadores negativos".

"Dar valor a la pérdida de fertilidad, tendría que tener en cuenta también la pérdida de todos los beneficios futuros, que no incluyen sólo el aprovechamiento de la fertilidad actual y potencial, sino la interacción con la fauna y flora, la microbiota, y la interacción con su biodiversidad, situación que hace en muchos aspectos, que los valores estén más allá de los números". (Pengue, W. 2002).

La formación del suelo deviene de la desintegración de la roca madre, formando una capa de sección variable encima de ella. Considerando que el suelo es un complejo de tres fases (sólida, líquida y gaseosa), en su fase sólida está compuesto por partículas de variados tamaños. Las de mayor tamaño son fracciones de rocas con todos los componentes de ésta, los intermedios generalmente mine-

rales que componen las rocas. Ambos se pueden considerar elementos inertes. Pero no es así con las partículas minerales más pequeñas, sobre todo las arcillas, ya que son elementos activos. Las arcillas son plásticas, cambian de volumen y son aglomerantes. Este comportamiento lábil de las arcillas frente a la presencia de agua las hace peligrosas desde el punto de vista constructivo, de allí la necesidad de estabilizarlas.

Respecto a la reacción de los suelos finos con mucho contenido de arcillas (CL – CH), debemos tener en cuenta que el tamaño de la mayoría de las partículas de arcillas es menor que las de cemento, por lo tanto una vez hidratada la mezcla, tenderán a unirse primero las partículas de arcillas entre sí para luego ser captadas por las mayores de cemento. Este fenómeno hace que el cemento como estabilizador de suelos arcillosos no sea de buen rendimiento.

En cuanto al comportamiento del suelo húmedo frente a la compresión no drenada se considera que existe una cantidad de agua óptima en función del tipo de suelo y la energía a aplicar. Esto se debe a que el agua actúa como lubricante entre las partículas, pero al no drenarse, cuando se satura la mezcla pasa a ser incompresible (1933, R.R. Proctor).

Cuando mediante apisonado del suelo se consigue una densidad determinada y la consiguiente resistencia a

las cargas, el suelo adquiere cierto grado de cohesión. La cohesión es muy leve cuando se trata de arena, ya que la misma depende sólo de la humedad (cohesión aparente), en cambio cuando se comprime una masa de arcilla, la cohesión es comprobable después de haber retirado la presión, la fuerza coercitiva deriva de la atracción molecular y la cohesión es real (Estabilización de suelos, Torrente, 1974).

La técnica constructiva de Tierra Apisonada se usó en todos los continentes durante siglos, con muy buen comportamiento, inclusive en zonas húmedas como la de Europa Central. En Asiria se encontraron cimientos de tierra apisonada de 5.000 años de antigüedad. Un muro de Tierra Apisonada necesita menos tratamiento superficial que aquellos construidos con otras técnicas y generalmente no es necesario revocar (Manual de Construcción en Tierra, Minke 2005).

Una de las propiedades destacadas de las Arcillas es la cohesión que se genera entre sus partículas. La cohesión deviene de la actividad de atracción y repulsión entre las partículas, actuando como cargas eléctricas con intensidad variable según la distancia entre ellas o distancia interlaminar. Con un bajo contenido de humedad, las arcillas conforman un sólido coherente con densidades altas (Fratelli, Graciela, 1993). La presencia del agua altera esta cohesión. La inclusión de agua en el espacio interlaminar deviene en la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento o degradación. Cuando aumenta la cantidad de agua entre las láminas, éstas se separan disminuyendo las fuerzas de cohesión y aumentando la repulsión electrostática (García Romero, Emilia, 2007). Debemos entonces aumentar el acercamiento de las partículas y evitar el ingreso de agua, para mantener la cohesión natural de las arcillas.

Si bien la cohesión lograda por la compresión, es decisiva para disminuir la absorción de agua en el mampuesto, no evitará la degradación paulatina de las capas superficiales del mismo, por efecto del contacto directo, que implica ingreso del agua en los primeros espacios interlaminares. El realizar un tratamiento superficial con hidrófugos podría evitar este fenómeno y estabilizar más el comportamiento del mampuesto. La investigación "TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE IMPERMEABILIZACIÓN PARA MUROS DE ADOBES TRADICIONALES" realizada en el Universidad Nacional de Tucumán – Argentina, por Irene C. Ferreyra - Stella M. Latina - Rafael Soria Nieto- Rafael F. Mellace, prueba que el tratamiento superficial con hidrocaburos de estos mampuestos, mejora el comportamiento de los mismos ante la presencia de agua, como expresan sus conclusiones: "...De igual modo, las probetas con INERTOL H SIL e Hidrocarburo, permiten obtener un recubrimiento de muy buena calidad, resisten muy bien la acción del impacto del agua y de la inmersión por un tiempo prolongado".

El comportamiento complejo de las arcillas fue analizado desde el punto de vista físico – mecánico, ya que esto permite acceder a las propiedades que interesan a esta investigación. El estudio de los límites Atterberg, Lí-

mite Líquido, Límite Plástico, Índice de Plasticidad y Carta de plasticidad, brindan una importante y basta información sobre el comportamiento Físico – Mecánico de las arcillas. "La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio" (García Romero, Emilia, 2007).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Aportar al desarrollo de la tecnología para la fabricación de mampuestos para la construcción de edificios, con bajo costo energético y ambiental y que puedan ser producidos por medio de autoconstrucción y/o pequeñas unidades productivas.

3.2. Objetivos específicos

- Desarrollar el procedimiento de fabricación de mampuestos tipo BTC (bloque de tierra comprimida) sin adicionar cemento, logrando buenas cualidades físicas y mecánicas, con el menor costo energético posible.
- Desarrollar una mejora en la máquina tipo SIMVA RAM, a fin de obtener alta presión de compactación y datos sobre la intensidad de la misma.
- Llevar los resultados de la Investigación a un manual operativo para la fabricación de BTC, adecuado a quien fabricará este tipo de material, con explicaciones claras y precisas, con procedimientos y unidades en función de un equipamiento mínimo disponible en obra.

3.3. PROPÓSITO

- Posibilitar el uso del mampuesto tipo BTC en la construcción de edificios, como una alternativa válida que reúne cualidades de un material sustentable, con un comportamiento físico y mecánico recomendable, aportando a la solución del problema del gran gasto energético que produce la construcción con materiales actualmente en uso.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en los siguientes ámbitos:

1. En el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Salta: realización de todos los análisis y ensayos necesarios, según y conforme lo especificado en las Normas IRAM u otras Normas vigentes o acordes, a fin de determinar el comportamiento de las variables dependientes. En los ensayos que no se especifica en las Normas la rei-

teración, se repitieron los mismos en un rango entre 5 y 10 veces. Con los resultados se determinaron las curvas de comportamiento y los cuadros comparativos.

2. En campo: selección de distintos tipos de suelos, fabricación de BTC con la máquina SIMVA-RAM modificada desarrollada durante la presente investigación.
3. En gabinete: tratamiento y análisis de los datos y elaboración de informes (figura 4).

4.1. Diseño de los procedimientos

Primera etapa

1. Se consiguieron tres tipos distintos de suelos con el siguiente procedimiento: Dos de ellos se obtuvieron de excavaciones de cimientos de obras en la ciudad, previamente conocidas por la presencia de suelos arcillo-

sos. El tercero se adquirió de una cantera de extracción de arcilla para la fabricación de ladrillos cerámicos de tipo artesanales.

2. Clasificación de Suelos. Se tomaron las tres muestras de distintos tipos de suelos arcillosos (preclasificados mediante análisis tactovisuales) y se los clasificó en laboratorio, según las Normas IRAM (Tabla 5).

Los parámetros para seleccionar definitivamente los tipos de suelo fueron los siguientes:

- Suelos finos, con más del 10% pasa el tamiz 200.
- Suelos Plásticos: Límite Líquido entre 20 y 50, Índice de Plasticidad entre 10 y 30.

En el desarrollo del marco teórico se justifica la razón del uso del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (versión IRAM) para esta investigación.



Figura 4. Fotografía trabajo en gabinete colaboradora Arq. Gabriela Polliotto con autor.

IRAM 10500	Mecánica de suelos. Preparación de muestras.
IRAM 10501	Geotecnia. Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad.
IRAM 10509	Mecánica de suelos. Clasificación de suelos, con propósitos ingenieriles.
IRAM 10512	Mecánica de suelos. Métodos de análisis granulométrico.
IRAM 10535	Mecánica de suelos. Descripción de suelos mediante análisis tactovisual.

Tabla 5. Normas IRAM utilizadas en la investigación para los diferentes ensayos.

3. Límite de Contracción. Se determinó el límite de contracción de los tres tipos de suelos, para establecer la relación entre éste y la clasificación obtenida según S.U.C.S. (IRAM). Luego se hizo la prueba de ALCOCK a los tres tipos de suelos a fin de relacionar esta sencilla prueba con el Límite de Contracción. Esto implica un total de seis ensayos. Estos ensayos y sus relaciones se justifican en el curso de la investigación.
4. Una vez clasificados los suelos se procedió, en coincidencia a lo manifestado en el Marco Teórico, a la determinación del Máximo Peso Unitario Seco – Porcentaje de humedad, teniendo en cuenta la teoría de Proctor, para lograr el mayor acercamiento posible de las partículas con determinada presión. Lo que se trata de demostrar es que a mayor acercamiento de las partículas de arcilla, mayor es la resistencia de los mampuestos y menor su absorción de agua. Para lograr eso debemos aplicar la teoría de Proctor.
5. Determinación del máximo Peso Unitario seco – Porcentaje de humedad. Se tomaron muestras de los tipos de suelos ya clasificados. Se determinó por medio del ensayo “tipo Proctor” el contenido óptimo de humedad para obtener el máximo peso unitario seco. Cabe aclarar que la energía se aplicó por presión y no por golpes. Esto se debe a que los bloques se realizaron por medio de presión y no por golpes, entonces para hacer más coherente el ensayo, aplicando los principios de la Teoría, se cambió el procedimiento en la forma de aplicar la energía. La presión varió de 4 kg/cm² a 6 kg/cm² y a 8 kg/cm². Se tomaron cuatro contenidos de humedad crecientes en más 2% en cada ensayo. Esto implica un total de veintisiete ensayos. Los resultados del porcentaje óptimo se aplicaron en los siguientes ensayos, así el contenido de humedad quedó definido como una constante.
6. Ensayos para la determinación de la resistencia a la compresión en función de la clase de suelo y la presión de compactación aplicada. Una vez determinada la humedad óptima según la presión, se elaboraron probetas de tierra comprimida, en número de seis por cada tipo de suelo y cada tipo de presión (total: 54 probetas). Las probetas fueron cilíndricas de 10 cm. de diámetro, obtenidas en la prensa de carga para medir exactamente la presión de compactación a que fueron sometidas. Luego fueron ensayadas a la compresión. Se elaboraron las curvas de Presión al compactar – Resistencia a la compresión. para los distintos tipos de suelo, a fin de comparar la resistencia a la compresión en función de tres intensidades de presiones, de esas tres clases de suelos.
7. Ensayos para la determinación de la absorción de agua. Una vez comprobada la hipótesis que a mayor presión de confinamiento mayor resistencia, se elaboraron probetas de tierra comprimida, impermeabilizadas superficialmente con aceite usado de automóviles, en número de tres por cada tipo de suelo y cada tipo de presión (27 probetas en total). Luego fueron ensayadas a la absorción de agua y se elaboró una curva de Presión al compactar – Absorción de agua, para los distintos tipos de suelo, a fin de comparar la absorción de agua en función de la presión

aplicada al compactar. Las probetas fueron cilíndricas de 10 cm de diámetro, idénticas a las probetas para ensayo a la compresión. El ensayo consiste en la inmersión completa de la probeta en agua, luego de lo cual se evalúa el tiempo que tarda en destruirse la misma, considerándose destrucción cuando pierde el 15% de su volumen.

8. Ensayos para la determinación de la Resistencia a la abrasión hídrica (erosión por lluvia). Para estos ensayos se usó el Método del Goteo. Se elaboraron probetas de tierra comprimida, impermeabilizadas superficialmente con aceite usado de automóviles, en número de tres por cada tipo de suelo y cada tipo de presión (27 probetas). Luego fueron ensayadas a la a la abrasión hídrica y se elaboraron una curva de Presión al compactar– Resistencia a la abrasión hídrica para cada tipo de suelo, a fin de comparar la Resistencia a la abrasión hídrica en función de la presión aplicada al compactar de cada tipo de suelo. Las probetas fueron de 10 cm de diámetro y 2 m de espesor. El ensayo consiste en dejar caer en la cara superior de la probeta una gota de agua cada segundo desde una altura de 2,50 m, luego de lo cual se evalúa el tiempo que tarda en perforarse la misma.

4.2. Hipótesis

4.2.1. Hipótesis sustantiva

Se pueden fabricar mampuestos de tierra comprimidos (BTC) sin cemento y obtener comportamientos físicos y mecánicos recomendables, usando suelos tipo arcillosos de mediana plasticidad, aplicando presión de compactación elevada, teniendo en cuenta la teoría de Proctor e impermeabilizando superficialmente el mismo con aceite usado de motores.

4.2.2. Hipótesis de trabajo

Si se fabrican mampuestos comprimidos de suelo-cemento, teniendo en cuenta las siguientes condiciones se pueden obtener comportamientos físicos (absorción de agua) y mecánicos (resistencia a la compresión y a la abrasión hídrica) recomendables, con suelo de tipo arcilloso, exceptuando los suelos con alto contenido de materia orgánica (sobre todo los suelos ácidos):

- Clasificando correctamente los suelos, determinando el contenido y tipo de arcillas en cada uno de ellos.
- Usando suelos de tipo arcillosos o arenas con un contenido de arcillas de mediana plasticidad (SC).
- Aumentando la presión de compactación, por lo menos a 8 kg/cm², a fin de lograr un aumento en el peso unitario seco, considerando la humedad óptima, en función a la energía a aplicar, para así lograr el mayor acercamiento entre partículas (Proctor).
- Impermeabilizando superficialmente el mampuesto con aceite usado de motores.

Se establecen las variables independientes y dependientes. Dentro del conjunto de variables dependientes se tuvieron en cuenta las propiedades físicas y mecánicas. En cuanto a las variables independientes se propusieron el tipo de suelo y la presión al compactar.

CUADRO DE VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES		TIPO DE SUELO	
		PRESION AL COMPACTAR	
VARIABLES DEPENDIENTES	PROPIEDADES FISICAS		ABSORCIÓN DE AGUA
	PROPIEDADES MECÁNICAS		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
			RESISTENCIA ABRASIÓN HIDRICA

5. RESULTADOS

5.1. Recolección de datos de laboratorio (Figura 5)

5.1.1. Tareas realizadas en esta fase

- Se obtuvieron cuatro tipos de tierras distintas, de las cuales se seleccionaron tres.
 - T1 se denomina a la tierra obtenida de la excavación para fundaciones de un edificio en el Campus de la Universidad Católica.
 - TII la obtenida en la cantera de Arcilla del Río Arenales dedicada a la fabricación de ladrillos cocidos.
 - La tercera tierra, obtenida de excavaciones en el paraje Las Vertientes, una vez clasificada, fue desechada por no reunir las cualidades necesarias para la investigación. En adelante se denominará TD (desechada).
 - T3 se obtuvo de una excavación para cimientos de una casa particular en B° Parque Gral. Belgrano.
- Se clasificaron los cuatro tipos de tierras, según las Normas correspondientes, mediante ensayos de Granulometría, Límite Líquido y Límite Plástico (12 ensayos) (Figura 6).



Figura 6. Fotografía ensayo de laboratorio para la determinación del Límite Líquido.



Figura 5. Fotografía laboratorio de Mecánica de Suelos – Universidad Católica de Salta.

- Se hicieron ensayos tipo Proctor de la tierra T1, con energías de 6 Kg/cm² y 8 kg/cm²; de la tierra TII con energías de 4 kg/cm² y 8 kg/cm² y de la tierra TIII con 8 kg/cm². (20 ensayos en total) (Figura 7).

El ensayo Proctor se realiza para determinar la humedad correcta para lograr la mejor compactación del suelo a determinada energía aplicada.

- Fabricación de Probetas: se hizo con la Prensa CBR y con el molde para ensayo de Proctor, tamaño chico de 10 cm de diámetro. Se tamizó la tierra con el tamiz N°4 (4,76 mm), luego se humectó a la humedad ideal de Proctor, dejando estacionar 24hs la preparación, a fin que la humedad penetre bien en las partículas de arcilla (Figura 8).
- Luego de moldeadas las probetas, se dejaron durante siete días dentro de bolsas plásticas a fin de evitar la aparición de fisuras de secado. Posteriormente se estacionaron durante catorce días en la cámara de curado y finalmente siete días al aire pero bajo sombra. El total de la etapa de secado fue de veintiocho días (Figura 9).
- Una vez secadas las probetas se separaron las que se usarían en los ensayos hídricos, las cuales fueron sumergidas dentro de cubas llenas de aceite usado de motores durante 24hs. Las probetas absorbieron bien el aceite creándose una película bastante uniforme en la superficie (Figura 10).



Figura 8. Fotografía colocación probetas en la Cámara de Curado.



Figura 7. Fotografía preparación máquina CBR para Ensayo Proctor.



Figura 9. Fotografía Probetas de Tierra T I y T II.



Figura 10. Probetas sumergidas en aceite.

- De la tierra TI se fabricaron 18 probetas para ensayo a la compresión, 10 probetas para el ensayo de absorción de agua y 10 probetas para el ensayo de abrasión por agua. (38 probetas).
- Se prepararon tres probetas por tipo de presión de compactación ($4\text{kg}/\text{cm}^2$, $6\text{kg}/\text{cm}^2$, $8\text{kg}/\text{cm}^2$), sumergiéndolas en aceite usado de automotores durante 24hs.
- De la tierra TII se fabricaron 18 probetas para ensayo a la compresión, 10 probetas para el ensayo de absorción de agua y 10 probetas para el ensayo de abrasión por agua. (38 probetas).
- De la tierra TIII se fabricaron 6 probetas para ensayo a la compresión, 4 probetas para el ensayo de absorción y 4 probetas para el ensayo de abrasión por agua. (14 probetas).

5.1.2. Ensayos a la compresión

- De la tierra TI se ensayaron a Compresión simple en la prensa de carga, las probetas compactadas a $4\text{kg}/\text{cm}^2$, $6\text{kg}/\text{cm}^2$ y $8\text{kg}/\text{cm}^2$, 6 probetas de cada tipo (18 probetas en total) (Figura 11).
- De la tierra TII se ensayaron a Compresión simple en la prensa de carga, las probetas compactadas a $4\text{kg}/\text{cm}^2$, $6\text{kg}/\text{cm}^2$ y $8\text{kg}/\text{cm}^2$, 6 probetas de cada tipo (18 probetas en total).
- De la tierra TIII se ensayaron a Compresión simple en la prensa de carga, las probetas compactadas a $8\text{kg}/\text{cm}^2$, 6 probetas en total (Figura 12).



Figura 11. Fotografía probeta dispuesta para ensayo a la Compresión.



Figura 12. Fotografía probetas ensayadas a la compresión.

5.1.3. Ensayos de absorción de agua

El ensayo consiste en sumergir totalmente la probeta y tomar los tiempos cuando comienzan a disgregarse y cuando han perdido el 15% de su masa, momento que se considera como de "rotura". A fin de comparar los resultados también se ensayó, de cada tipo de tierra, una probeta de 8 kg/cm² sin baño de aceite. Se eligió esta probeta porque teóricamente es la que más debe resistir el ataque del agua si no está tratada con aceite.

- De la tierra TI se ensayaron a la Absorción de agua las probetas compactadas a 4kg/cm², 6kg/cm² y 8 kg/cm² e impregnadas con aceite (9 ensayos).
- De la tierra TII se ensayaron a la Absorción de agua las probetas compactadas a 4kg/cm², 6kg/cm² y 8 kg/cm² e impregnadas con aceite (9 ensayos).
- De la tierra TIII se ensayaron a la Absorción de agua las probetas compactadas a 8 kg/cm² e impregnadas con aceite (3 ensayos) (Figura 13).
- De la tierra TI y TII se ensayaron a Absorción de agua las probetas compactadas a 4kg/cm², 6kg/cm² y 8 kg/cm² y sin impregnar con aceite (6 ensayos).
- De la tierra TIII se ensayó a Absorción de agua la probeta compactada a 8kg/cm² y sin impregnar con aceite (1 ensayo) (Figura 14).

5.1.4. Ensayos de abrasión hídrica

El ensayo de goteo o abrasión hídrica trata de determinar la resistencia del material a la abrasión hídrica. Consiste en someter a una probeta de 3 cm de espesor a un goteo



Figura 13. Fotografía Ensayo a la Absorción de agua.



Figura 14. Probetas ensayadas a la Absorción de Agua.

desde 2m de altura con una frecuencia de una gota por segundo. Debe evitarse que el agua que ya cayó sobre la probeta se acumule en su base, por lo tanto se la coloca sobre algún material absorbente. Se determina el tiempo cuando comienza la impronta y el daño ocasionado al llegar a los noventa minutos.

- De la tierra TI se ensayaron a la Abrasión Hídrica las probetas compactadas a 4kg/cm², 6kg/cm² y 8 kg/cm² e impregnadas con aceite (9 ensayos).
- De la tierra TII se ensayaron a la Abrasión Hídrica las probetas compactadas a 4kg/cm², 6kg/cm² y 8 kg/cm² e impregnadas con aceite (9 ensayos).
- De la tierra TIII se ensayaron a la Abrasión Hídrica las probetas compactadas a 8 kg/cm² e impregnadas con aceite (3 ensayos) (Figura 15).
- De la tierra TI y TII se ensayaron a la Abrasión Hídrica las probetas compactadas a 4kg/cm², 6kg/cm² y 8 kg/cm² y sin impregnar con aceite (6 ensayos).
- De la tierra TIII se ensayó a la Abrasión Hídrica la probeta compactada a 8kg/cm² y sin impregnar con aceite (1 ensayo).



Figura 15. Fotografía Probetas ensayadas a la Abrasión Hídrica.

5.1.5. Determinación de la contracción lineal - método de a. E. S. Alcock

Se trata de demostrar experimentalmente que la contracción lineal de una tierra está relacionada a su plasticidad.



Figura 16. Fotografía preparación ensayo de Alcock.

Para ello se realiza la determinación de la contracción lineal de las tierras ensayadas con el método de Alcock, y se la relaciona con el índice de Plasticidad, ya determinado por ensayos de laboratorio. Esta acción tiene como objetivo reemplazar en campo los complicados métodos para clasificar un suelo, con el ensayo de Alcock que resulta más sencillo de realizar (Figura 16).

- Se ensayaron los tres tipos de suelo TI, TII y TIII, una muestra de cada uno. Se prepararon las muestras con tierra tamizada por el Tamiz N° 4 y humectadas con la humedad Proctor (Figura 17).



Figura 17. Fotografía probetas ensayadas a la contracción lineal según Alcock.

5.2. Clasificación de tierra tipo TI

5.2.1. Granulometría

Pasante tamiz 200 (0,075 mm) 10,13% (Figura 18).

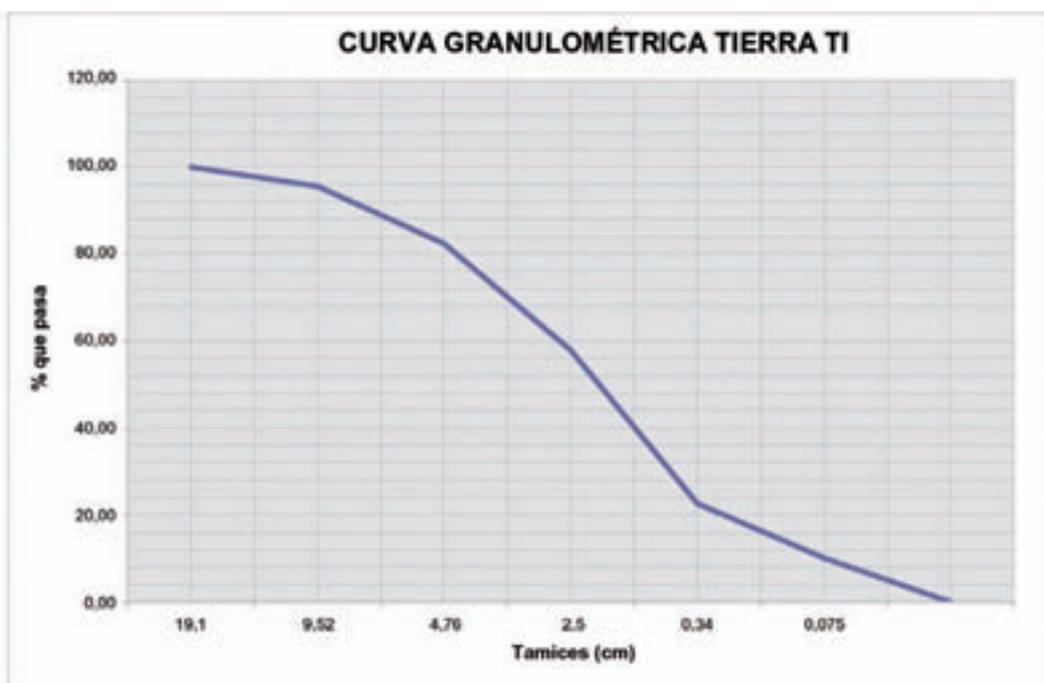


Figura 18. Gráfico Curva granulométrica Tierra TI

5.2.2. Determinación del límite líquido

Se toman 200 gr de la muestra que pasen el tamiz N° 40 (0,425 mm)

Ensayo	N° de golpes	Pesafiltro	peso pesafiltro	peso húmedo	Peso seco	masa húmeda	masa seca	Humedad
1	13,00	1	34,70	39,30	38,10	4,60	3,40	35,29
2	22,00	8	34,80	40,40	39,00	5,60	4,20	33,33
3	37,00	12	34,30	40,10	38,70	5,80	4,40	31,82

Límite Líquido 33,10



Figura 19. Gráfico determinación del límite líquido Tierra TI.

5.2.3. Determinación del límite plástico

Se toman 60 gr de la muestra que pasen el tamiz N° 40 (0,425 mm)

Ensayo	Pesafiltro	peso pesafiltro	peso húmedo	Peso seco	masa húmeda	Masa seca	Humedad	Límite Plástico
1	15	33,80	38,10	37,40	4,30	3,60	19,44	
2	10	34,50	38,10	37,50	3,60	3,00	20,00	19,72

Límite Plástico = 19,72

Límite Líquido = 33,1

Índice de plasticidad = $33,1 - 19,72 = 13,38$

Suelo tipo SC - ARENA ARCILLOSA de mediana plasticidad

Se destaca que la fracción pasante del tamiz N° 40, se ubica en la Carta de Plasticidad en el sector de arcillas de mediana plasticidad.

5.3. Clasificación de tierra tipo TII

5.3.1. Granulometría

Ensayo de granulometría Tierra TII

TAMIZ USA	TAMIZ	Peso retenido (gr)	% Peso retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
4	4,76	1,6	0,33	0,00	100,00
10	2	50,5	10,31	10,63	89,37
40	0,425	92,9	18,96	29,60	70,40
100	0,149	118,3	24,15	53,75	46,25
200	0,074	92,3	18,84	72,59	27,41
FONDO		134,3	27,41	100,00	0,00
PESO MUESTRA		489,9			

Pasa el Tamiz 0,075 mm más del 12% y menos del 50%.

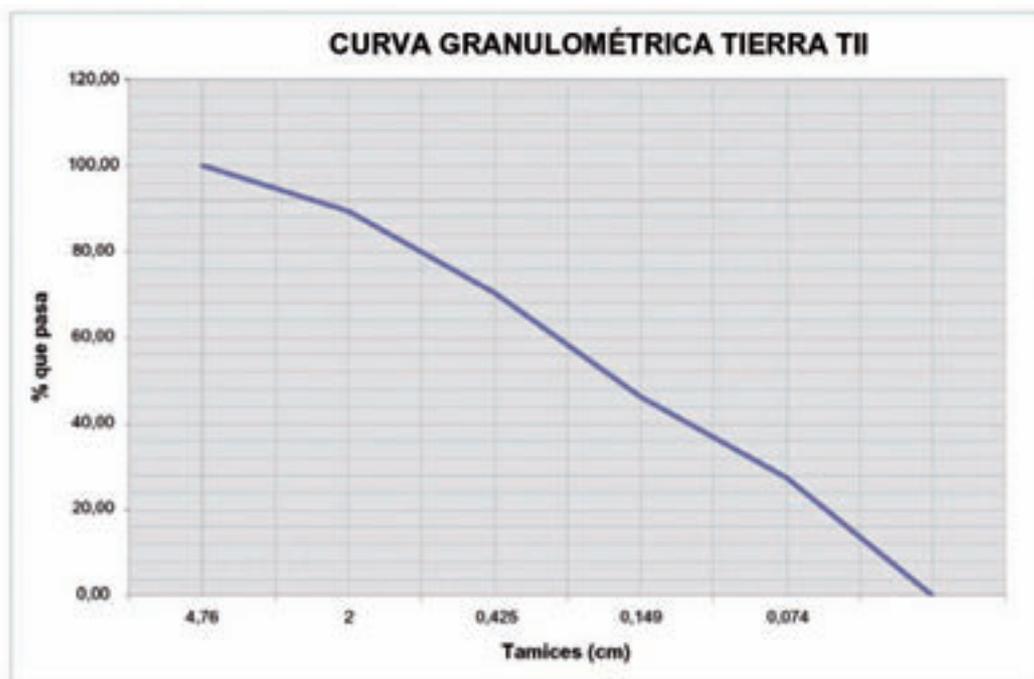


Figura 20. Gráfico Curva granulométrica Tierra TII.

5.3.2. Determinación del límite líquido

Ensayo	N° de golpes	Pesafiltro	peso pesafiltro	peso húmedo	peso seco	masa húmeda	masa seca	Humedad
1	13,00	1	34,70	39,30	38,10	4,60	3,40	35,29
2	22,00	8	34,80	40,40	39,00	5,60	4,20	33,33
3	37,00	12	34,30	40,10	38,70	5,80	4,40	31,82

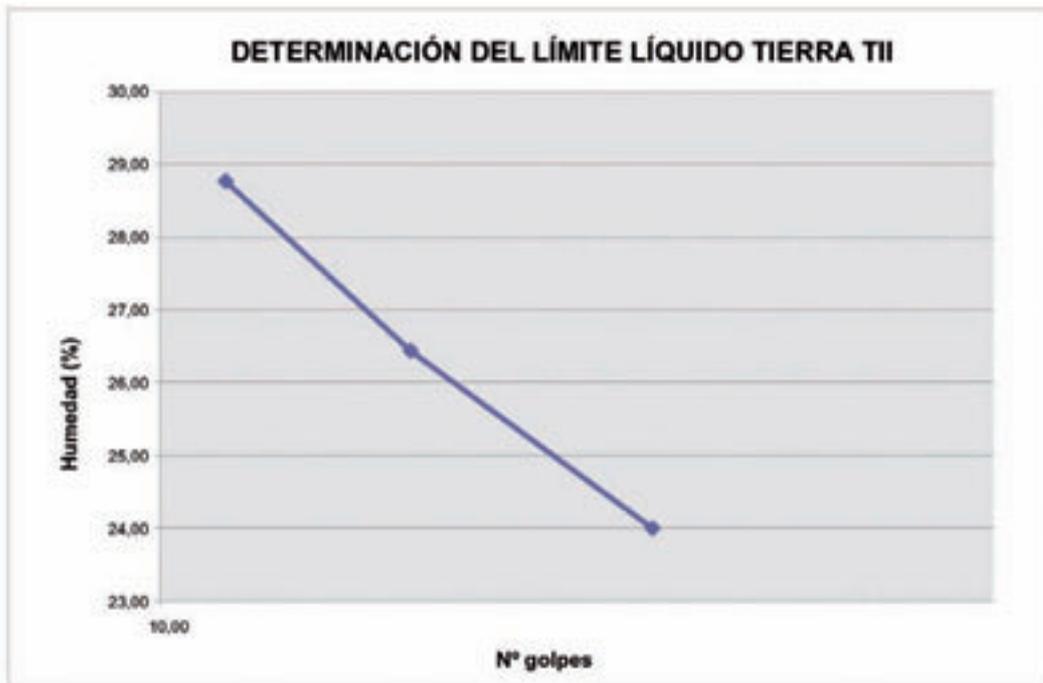


Figura 21. Gráfico determinación límite líquido Tierra TII.

Límite Líquido = 26,3

5.3.3. Determinación del límite plástico

Muestra	Pesafiltros		Peso muestra húmeda	Peso muestra Seca	Límite Plástico
	N°	Peso			
M1	1	18,8	21,2	20,8	20,00
M2	9	18,8	20,8	20,5	17,65
					18,82

CLASIFICACIÓN:

Límite Plástico = 18,82

Límite Líquido = 26,3

Índice de plasticidad = $26,3 - 18,82 = 7,48$

Suelo tipo SC – ARENA ARCILLOSA de baja Plasticidad

5.4. Clasificación de tierra tipo TD (desechada)

5.4.1 Determinación del límite líquido

Ensayo	N° de golpes	Pesafiltro	peso pesafiltro	peso húmedo	Peso seco	masa húmeda	masa seca	Humedad	Límite Líquido
1	15	40	34,6	48,4	45,7	2,7	11,1	24,32	23,6
2	22	10	34,2	47,7	45,1	2,6	10,9	23,85	
3	39	13	34,6	47,1	44,8	2,3	10,2	22,55	



Figura 22. Gráfico determinación límite líquido Tierra TD (desechada).

Límite Líquido 23,6

5.4.2. Determinación del límite plástico

Ensayo	Pesafiltro	peso pesafiltro	peso húmedo	peso seco	masa húmeda	masa seca	Humedad	Límite Plástico
1	11b	19,00	21,20	20,80	2,20	1,80	22,22	
2	9	18,80	21,10	20,80	2,30	2,00	15,00	18,61

CLASIFICACIÓN

Límite Plástico = 18,61

Límite Líquido = 23,6

Índice de plasticidad = $23,6 - 18,61 = 4,99$

Suelo tipo ML - CL - LIMO-ARCILLA de baja Plasticidad

Por tratarse de una tierra tipo Limo – Arcilloso no reúne las características definidas al inicio como tierras aptas.

5.5. Clasificación de tierra tipo tiii

5.5.1. Granulometría

Ensayo de Granulometría Tierra TIII

Peso de la muestra = 1.354 gr.

Tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
19,1	0	0,00	0	100,00
9,52	0	0,00	0,00	100,00
4,76	50	3,69	3,69	96,31
2,00	136	10,04	13,74	86,26
0,42	560	41,36	55,10	44,90
0,075	294	21,71	76,81	23,19
FONDO	314	23,19	100,00	0,00
PESO MUESTRA	1354			

Pasa el Tamiz 0,075 mm más del 12% y menos del 50%

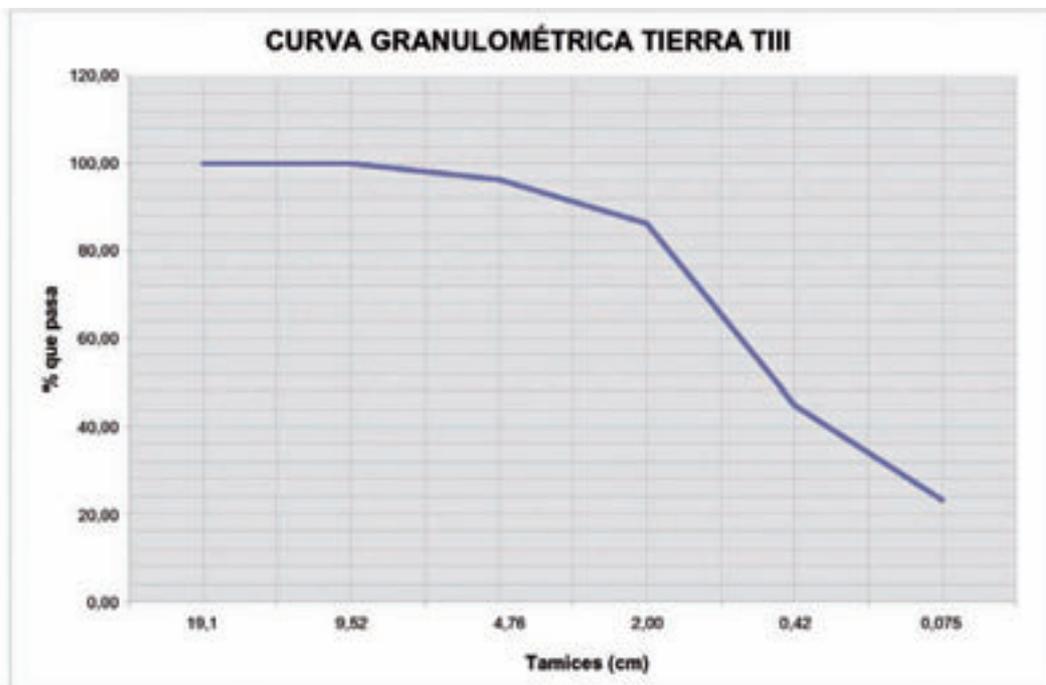


Figura 23. Gráfico Curva granulométrica Tierra TIII.

5.5.2. Determinación del límite líquido

Ensayo	N° de golpes	Pesafiltro	peso pesafiltro	peso húmedo	peso seco	masa húmeda	masa seca	Humedad	Límite líquido
1	16,00	9	18,80	26,40	24,30	7,60	5,50	38,18	37,45
2	27,00	10	18,70	26,80	24,60	8,10	5,90	37,29	
3	40,00	4	18,80	25,90	24,00	7,10	5,20	36,54	



Figura 24. Gráfico determinación del límite líquido Tierra TIII.

Límite Líquido 37,45

5.5.3. Determinación del límite plástico

Muestra	Pesafiltros		Peso muestra húmeda	Peso muestra Seca	Límite Plástico
	N°	Peso			
M1	11	19	21,2	20,8	22,22
M2	21	18,9	21,2	20,8	21,05
					21,64

CLASIFICACIÓN

Límite Plástico = 21,64

Límite Líquido = 37,45

Índice de plasticidad = $37,45 - 21,64 = 15,81$

Suelo tipo SC - ARENA ARCILLOSA de mediana Plasticidad

5.6. Ensayos Proctor y de compresión tierra TI

5.6.1. Ensayo Proctor de la tierra TI – Energía 6kg/cm²

Tierra TI - Energía aplicada = 6kg/cm²

Muestra	Pesafiltros		Peso muestra húmeda	Peso muestra Seca	H	Peso molde	Peso muestra c/molde	Volumen molde	Peso Unitario Húmedo	Peso Unitario Seco
	Nº	Peso								
TI	18	34,2	73,2	67,4	17,47	4232	6158	1000	1,926	1,640
	8	34,7	56,3	52,9	18,68	4232	6180	1000	1,948	1,641
	1	34,4	68	62,4	20,00	4232	6129	1000	1,897	1,581
	12	34,4	64,9	58,7	25,51	4232	6055	1000	1,823	1,452

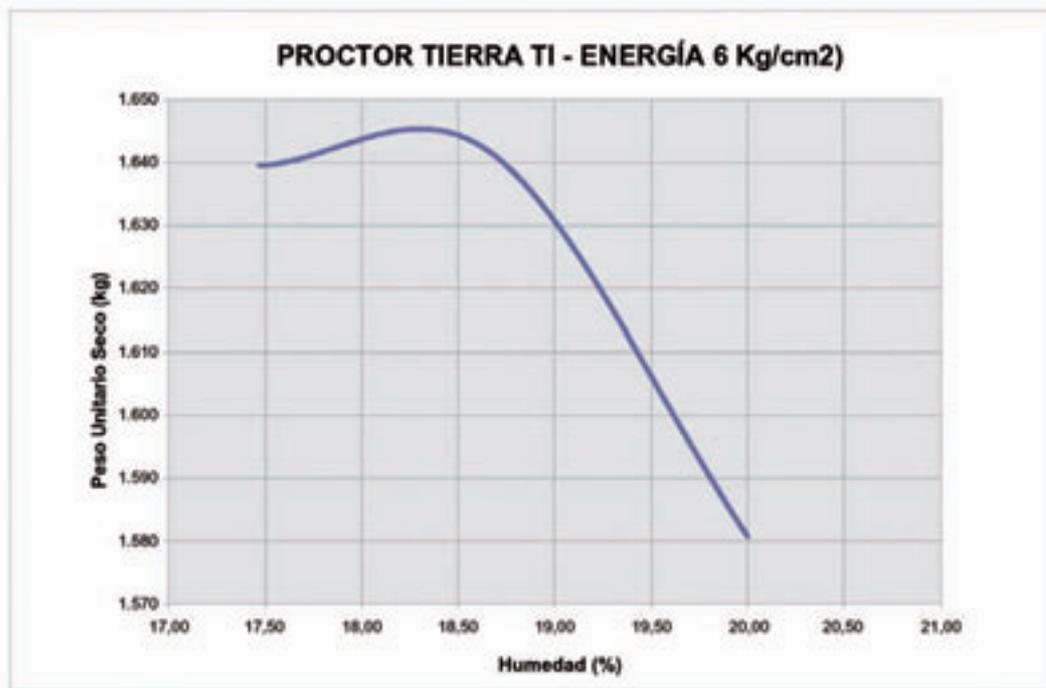


Figura 25. Gráfico Ensayo Proctor Tierra TI – Energía = 6kg/cm².

Humedad Óptima: 18,5%

5.6.2. Ensayo Proctor de la tierra T I – Energía 8kg/cm²

Tierra TI - Energía aplicada = 8kg/cm²

Muestra	Pesafiltros		Peso muestra húmeda	Peso muestra Seca	H	Peso molde	Peso muestra c/molde	Volumen molde	Peso Unitario Húmedo	Peso Unitario Seco
	Nº	Peso								
TI	1	34,9	56,4	53,4	16,22	4175	6075	1000	1,900	1,63488
	12	34,8	58,9	55,4	16,99	4175	6129	1000	1,954	1,67022
	10	34,6	71,9	66,3	17,67	4175	6140	1000	1,965	1,66999
	40	34,2	62,4	58	18,49	4175	6102	1000	1,927	1,62633

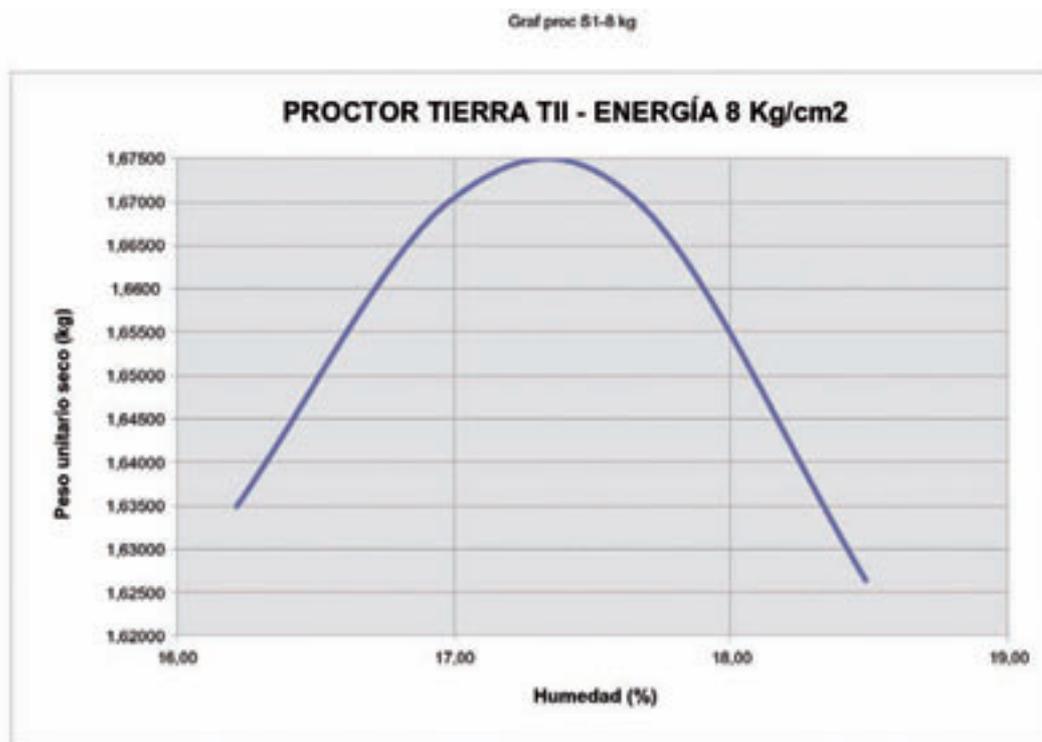


Figura 26. Gráfico Ensayo Proctor Tierra TI – Energía = 8kg/cm².

Humedad Óptima: 17,34%

5.6.3. Ensayo a la compresión de probetas de tierra TI de 4 kg/cm²

Probeta	Peso específico Kg/dm ³	Factor	Divisiones	Fuerza (kg)	Tensión (kg/cm ²)
1	1,6754	15,06	83	1249,98	15,62
2	1,637	15,06	65	978,9	12,24
3	1,655	15,06	68	1024,08	12,80
4	1,6664	15,06	104	1566,24	19,58
5	1,696	15,06	111	1671,66	20,90
6	1,629	15,06	50	753	9,41
Peso específico medio 1,6598				Tensión Media	15,09

Si bien el valor de tensión media obtenido es aceptable no es el óptimo esperable, ya que existió bastante dispersión de valores sobre todo en las probetas 2 y 6, que podrían deberse a alguna falla en el proceso de fabricación. Lo más importante a destacar en una primera observación es que parece existir una relación proporcional entre el peso específico y la resistencia.

5.6.4. Ensayo a la compresión de probetas de tierra TI de 6 kg/cm²

Probeta	Peso específico Kg/dm ³	Factor	Divisiones	Fuerza (kg)	Tensión (kg/cm ²)
1	1,67	181,5	11	1996,5	24,96
2	1,74	181,5	9,5	1724,25	21,55
3	1,73	181,5	10,5	1905,75	23,82
4	1,69	181,5	13	2359,5	29,49
5	1,73	181,5	10,9	1978,35	24,73
6	1,72	181,5	12,5	2268,75	28,36
Peso específico medio 1,713				Tensión Media	25,49

5.6.5. Ensayo a la compresión de probetas de tierra TI de 8 kg/cm²

Probeta	Peso específico Kg/dm ³	Factor	Divisiones	Fuerza (kg)	Tensión (kg/cm ²)
1	1,73	15,06	193	2906,58	36,33
2	1,732	15,06	192	2891,52	36,14
3	1,74	15,06	175	2635,5	32,94
4	1,75	15,06	191	2876,46	35,96
5	1,7326	15,06	182	2740,92	34,26
6	1,738	15,06	189	2846,34	35,58
Peso específico medio 1,737				Tensión Media	35,20

Como se expresó en el párrafo anterior y concretamente después de ensayar las probetas comprimidas a tres presiones distintas se observa que existe una relación proporcional entre el aumento del peso específico y el aumento de la resistencia a la compresión.

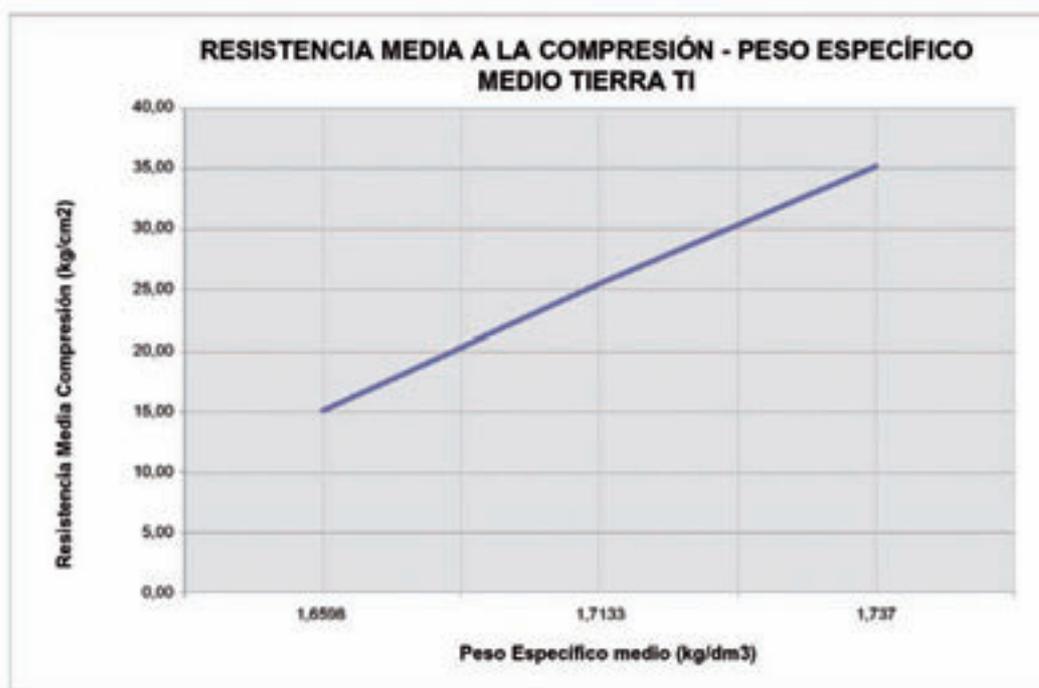


Figura 27. Gráfico Resistencia media a la compresión – Peso específico medio Tierra TI.

5.7. Ensayos Proctor y de compresión tierra T II

5.7.1. Ensayo Proctor Tierra TII – Energía 4 kg/cm²

El ensayo Proctor se realiza para determinar la humedad correcta para lograr la mejor compactación del suelo a determinada energía aplicada.

Tierra TII - Energía aplicada = 4kg/cm²

Muestra	Pesafiltros		Peso muestra húmeda	Peso muestra Seca	H	Peso molde	Peso muestra c/molde	Volumen molde	Peso Unitario Húmedo	Peso Unitario Seco
	Nº	Peso								
TII	10	34,6	59,9	55,4	21,63	4235	5975	1000	1,740	1,431
	13	34,2	58,7	54,1	23,12	4235	6073	1000	1,838	1,493
	40	34,8	65,8	59,8	24,00	4235	6095	1000	1,860	1,500
	1	34,6	73,3	65,3	26,06	4235	6062	1000	1,827	1,449

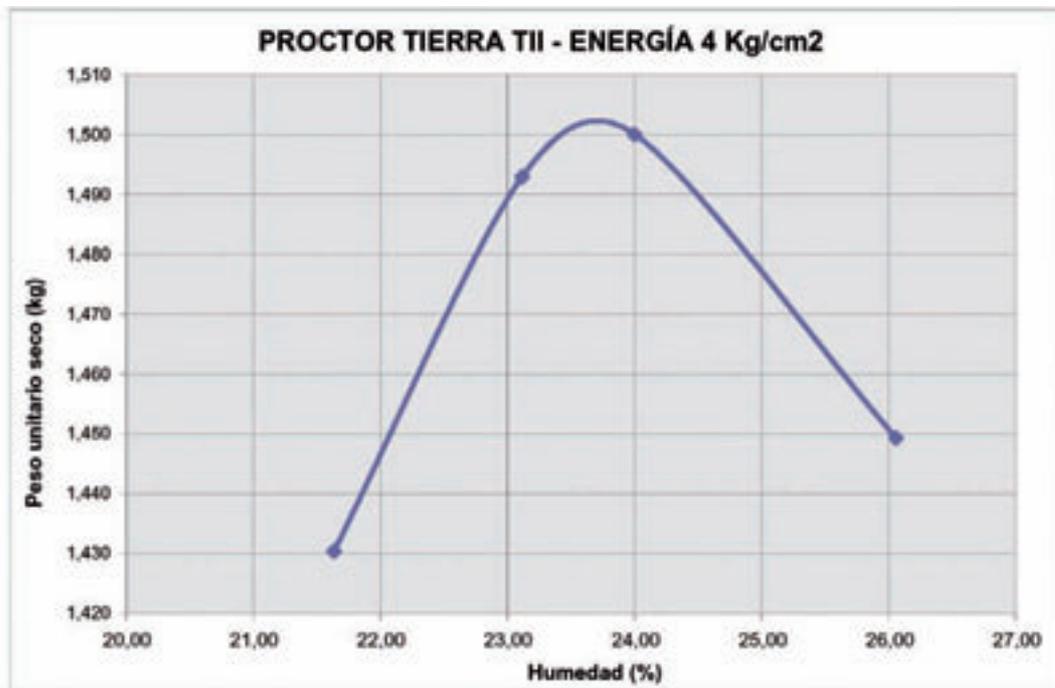


Figura 28. Gráfico Ensayo Proctor Tierra TII – Energía = 4kg/cm².

Humedad óptima= 23,8%

5.7.2. Ensayo Proctor Tierra tipo TII - Energía 8 kg/cm²

Tierra TII - Energía aplicada = 8kg/cm²

Muestra	Pesafiltros		Peso muestra húmeda	Peso muestr Seca	H	Peso molde	Peso muestra c/molde	Volum molde	Peso Unitar Húm.	Peso Unit. Seco	% H agreg
	Nº	Peso									
TII	1	36	112	100	18,75	4235	6022	1000	1,787	1,5048	8
	40	34	136	118	21,43	4235	6135	1000	1,900	1,5647	10
	10	34	128	110	23,68	4235	6100	1000	1,865	1,5078	12

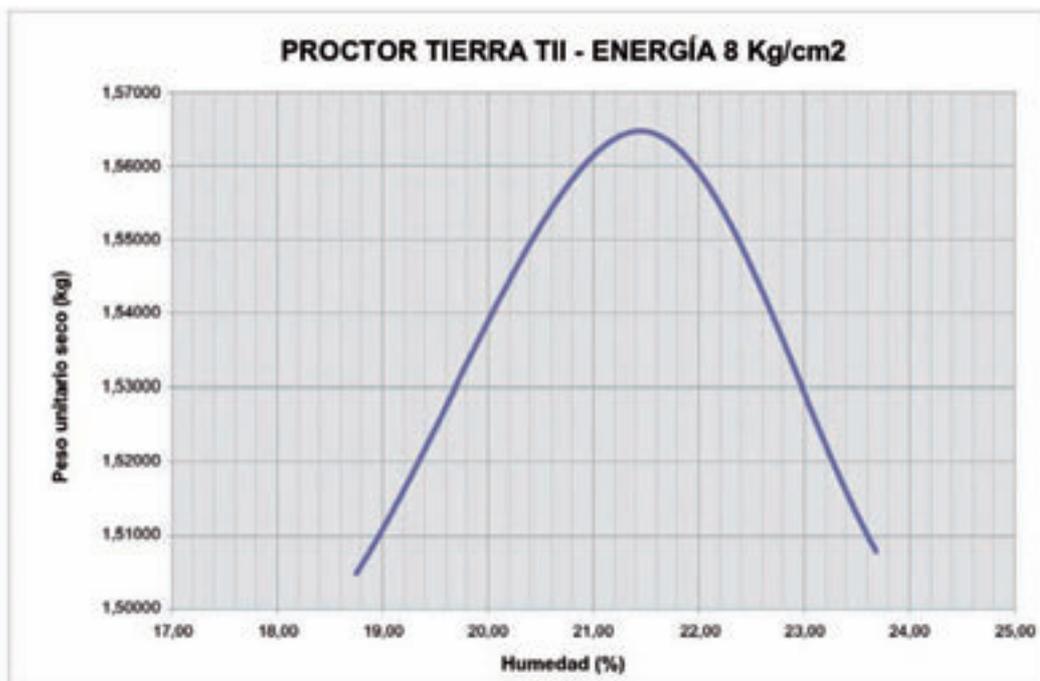


Figura 29. Gráfico Ensayo Proctor Tierra TII – Energía = 8kg/cm².

Humedad óptima= 21,6%

5.7.3. Ensayo a la compresión de probetas de Tierra TII de 4 kg/cm²

Probeta	Peso específico Kg/dm ³	Factor	Divisiones	Fuerza (kg)	Tensión (kg/cm ²)
1	1,57	15,06	67	1009,02	12,61
2	1,566	15,06	69	1039,14	12,99
3	1,546	15,06	73	1099,38	13,74
4	1,568	15,06	88	1325,28	16,57
5	1,58	15,06	97	1460,82	18,26
6	1,58	15,06	70	1054,2	13,18
Peso específico medio 1,57				Tensión Media	14,56

5.7.4. Ensayo a la compresión de probetas de Tierra TII de 6 kg/cm²

Probeta	Peso específico Kg/dm ³	Factor	Divisiones	Fuerza (kg)	Tensión (kg/cm ²)
1	1,592	15,06	88	1325,28	16,57
2	1,582	15,06	98	1475,88	18,45
3	1,582	15,06	104	1566,24	19,58
4	1,588	15,06	113	1701,78	21,27
5	1,664	15,06	94	1415,64	17,70
6	1,59	15,06	100	1506	18,83
Peso específico medio 1,600				Tensión Media	18,73

5.7.5. Ensayo a la compresión de probetas de Tierra TII de 8 kg/cm²

Probeta	Peso específico Kg/dm ³	Factor	Divisiones	Fuerza (kg)	Tensión (kg/cm ²)
1	1,603	15,06	118	1777,08	22,21
2	1,63	15,06	141	2123,46	26,54
3	1,627	15,06	128	1927,68	24,10
4	1,628	15,06	133	2002,98	25,04
5	1,622	15,06	133,5	2010,51	25,13
6	1,621	15,06	122	1837,32	22,97
Peso específico medio 1,622				Tensión Media	24,33

Se repite el mismo comportamiento, a mayor peso específico mayor resistencia, para la tierra TII a pesar de tratarse de una arcilla de menor Plasticidad. Lo que puede observarse es, que los valores de tensiones medias decrecieron respecto de la tierra TI, lo que puede implicar una relación entre la resistencia y la plasticidad.

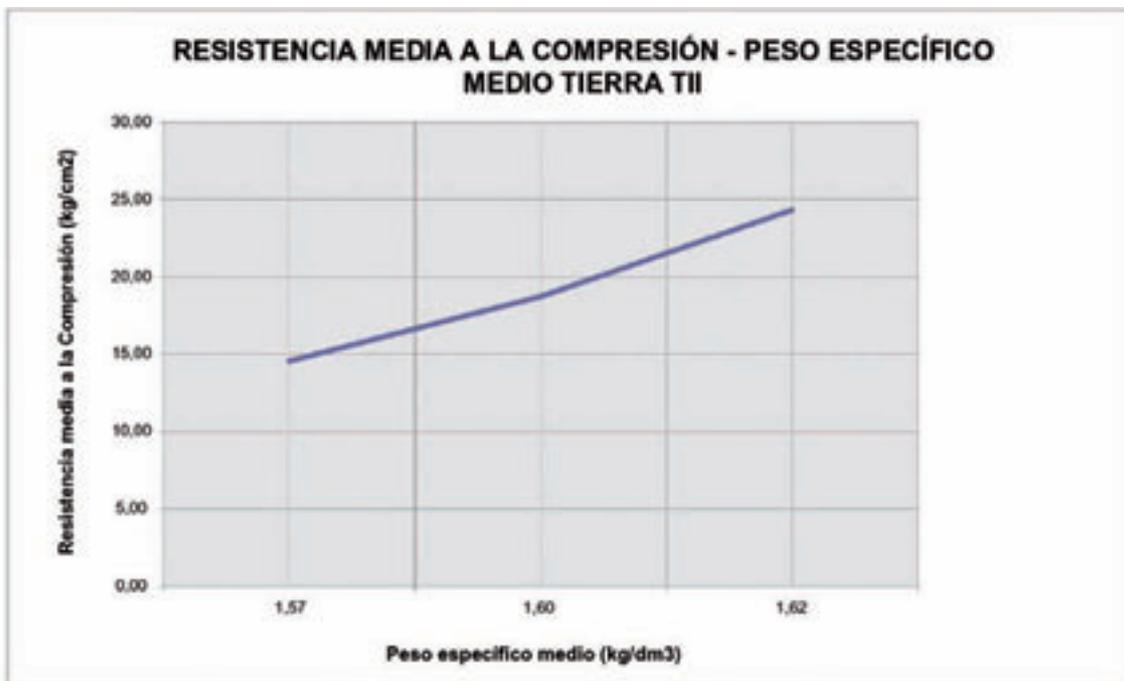


Figura 30. Gráfico Resistencia media a la Compresión – Peso Específico medio Tierra TII.

Este comportamiento de las arcillas es el núcleo de la hipótesis por lo que será analizado con detenimiento más adelante cuando se presenten los datos de los ensayos con la tierra TIII y se aborde de lleno el análisis de datos.

5.8. Ensayos Proctor y de compresión Tierra TIII

5.8.1. Ensayo Proctor de la Tierra TIII – Energía 8kg/cm²

Tierra TIII – Energía aplicada = 8 kg/cm²

Suelo	Pesafiltros		Peso muest. húm.	Peso muest. Seca	H	Peso molde	Peso muestra c/ molde	Volumen molde	Peso Unitario Húmedo	Peso Unitario Seco	% H agreg
	Nº	Peso									
TIII	13	34,2	70,5	64,7	19,02	4235	5911	1000	1,676	1,40821	6
	10	34,7	65,7	60,2	21,57	4235	6002	1000	1,767	1,45350	8
	1	34,9	76,2	67,9	25,15	4235	6073	1000	1,838	1,46862	11
	1	34,9	78,3	68,4	29,55	4235	5989	1000	1,754	1,35389	12

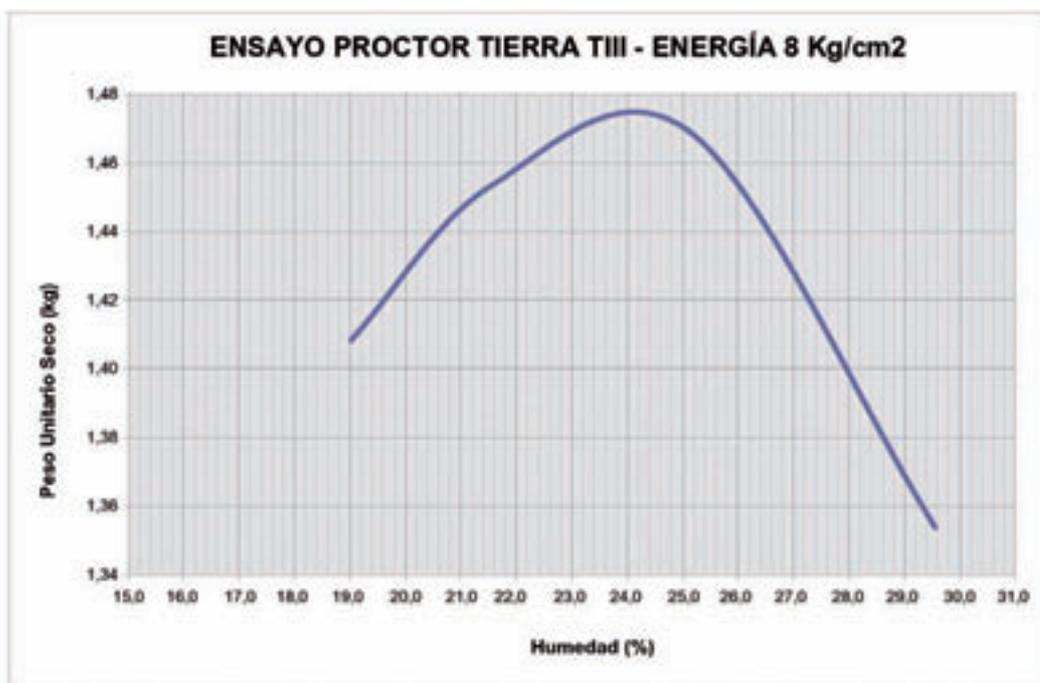


Figura 31. Gráfico Ensayo Proctor Tierra TIII – Energía = 8kg/cm².

Humedad óptima 24,00%

5.8.2. Ensayo a la compresión de probetas de Tierra TIII de 8 kg/cm²

Probeta	peso específico	factor	Divisiones	Fuerza (Kg)	tensión (kg/cm ²)	Tensión media de rotura	Densidad media
1	1,63	15,06	219,00	3298,14	41,23		
2	1,61	15,06	226,00	3403,56	42,54		
3	1,59	15,06	218,00	3283,08	41,04		
4	1,62	15,06	255,00	3840,30	48,00		
5	1,62	15,06	245,00	3689,70	46,12		
6	1,62	15,06	237,00	3569,22	44,62		
	9,69				263,55	43,93	1,614

Tensión Media de Rotura 43,93 Kg/cm²

Se observa un importante incremento en la resistencia media a la compresión con respecto a los valores obtenidos para las tierras TI y TII.

5.9. Gráfico índice de plasticidad – Tipo de Suelo

Este gráfico se obtiene para estudiar la variación proporcional entre los tipos de arcilla y su Índice de Plasticidad.

Tabla Tipo de Suelo – Índice de plasticidad

Tipo de Suelo	Índice de Plasticidad
T2	7,69
T1	13,38
T3	15,81

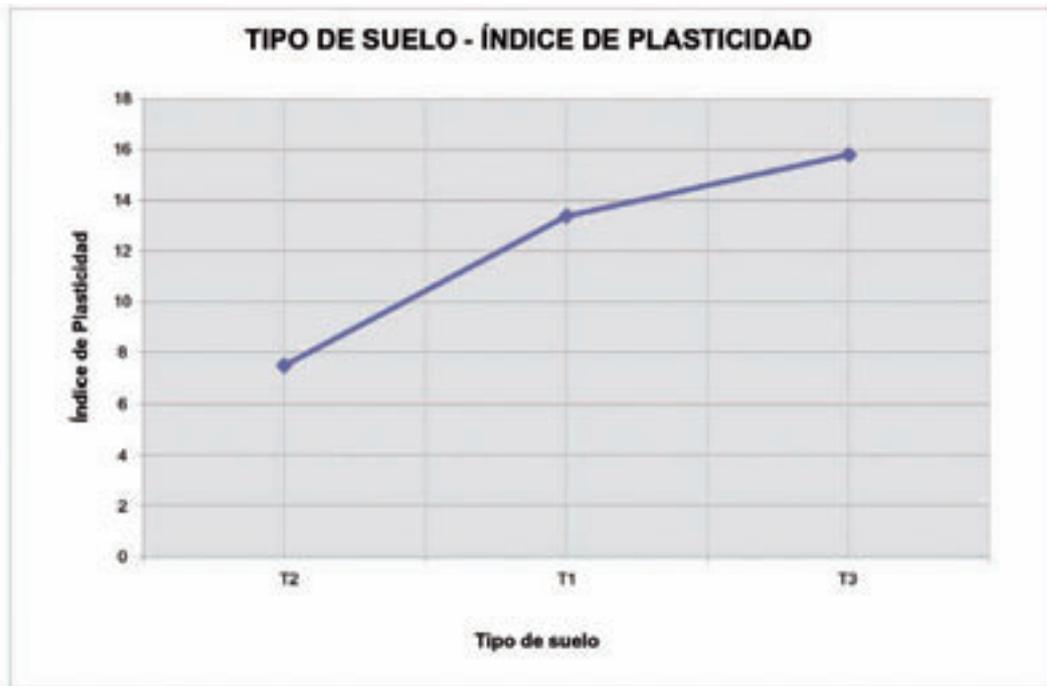


Figura 32. Gráfico tipo de suelo – Índice de Plasticidad.

5.10. Gráfico Resistencia Media a Compresión – Índice de Plasticidad

Este gráfico se obtiene para estudiar la relación entre la plasticidad de las arcillas y la capacidad de cohesión.

Tabla de Resistencia a la Compresión – Índice de Plasticidad

Tipo de tierra	Resistencia a la compresión	Índice de plasticidad
T2	24,33	7,69
T1	32,20	13,38
T3	43,93	15,81

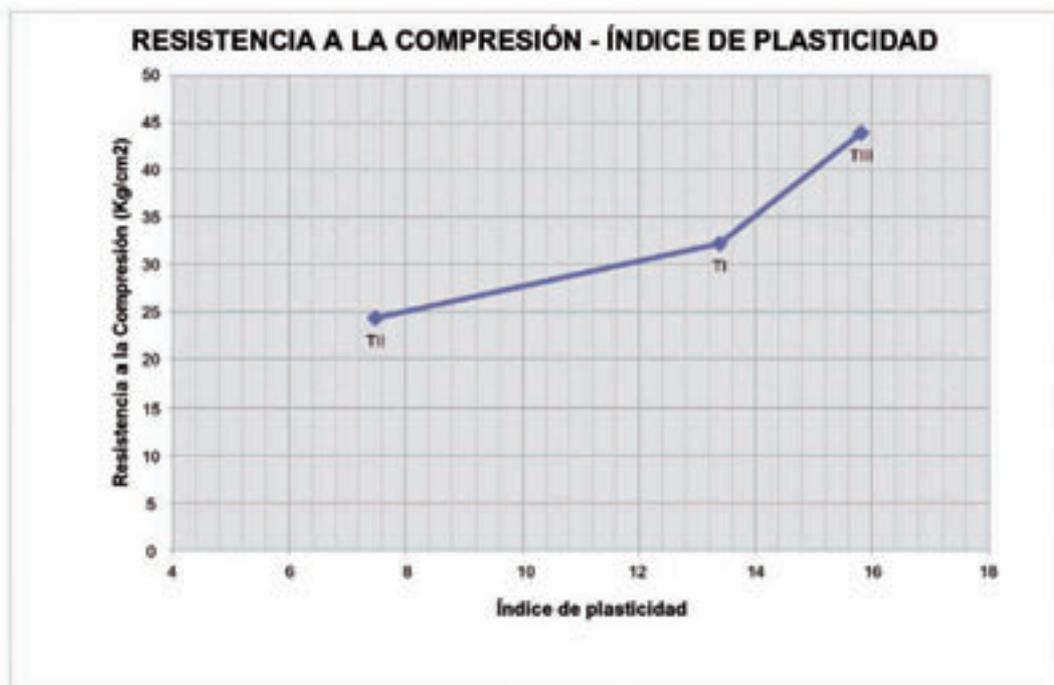


Figura 33. Gráfico Resistencia a la compresión – Índice de plasticidad.

Se observa una proporcionalidad en la relación entre la Resistencia a la Compresión de la tierra y su plasticidad.

5.11. Ensayos a la absorción de agua

5.11.1. Ensayos de absorción de Agua Tierra T1

Probetas de 4kg/cm² c/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	0,33	1,50
P2	0,33	1,91
P3	0,33	2,08
Tiempo medio	0,33	1,83
Tiempo medio sexagesimal	0h 20'	1h 50'

Probetas de 6kg/cm² c/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	0,66	1,91
P2	0,66	2,00
P3	0,66	2,25
Tiempo medio	0,66	2,05
Tiempo medio sexagesimal	0h 40'	2h 03'

Probetas de 8kg/cm² c/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	1	3,00
P2	2	3,50
P3	2,25	3,66
Tiempo medio	1,75	3,39
Tiempo medio sexagesimal	1h 45'	3h 23'

Probetas de 8kg/cm² s/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	0h 05'	1h 55'

En principio se puede observar la gran diferencia de tiempo para comenzar a disgregarse, entre la probeta con aceite, promedio: 1h 40' y la probeta sin aceite: 0h 05', diferencia que se achica en cuanto al tiempo de rotura que para la primera es de promedio 3h 20' y para la segunda es de 1h 55'.

También se observa un aumento de tiempo para comenzar a disgregarse y para la rotura en función del aumento de la presión de compactación.

5.11.2. Ensayos de Absorción de Agua Tierra TII

Probetas de 4kg/cm² c/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	0,80	2,33
P2	0,80	2,66
P3	0,80	2,41
Tiempo medio	0,80	2,47
Tiempo medio sexagesimal	0h 50'	1h 50'

Probetas de 6kg/cm² c/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	2,00	6,00
P2	3,00	7,33
P3	3,16	7,50
Tiempo medio	2,72	6,94
Tiempo medio sexagesimal	2h 43'	6h 56'

Probetas de 8kg/cm² c/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	3,80	7,75
P2	3,66	8,41
P3	3,66	8,25
Tiempo medio	3,71	8,14
Tiempo medio sexagesimal	3h 43'	8h 08'

Probetas de 8kg/cm² s/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	0h 05'	2h 00'

En el caso de la tierra TII observamos aún mayor diferencia entre los valores que en la tierra TI. El comienzo de la disgregación en la probeta con aceite demoró promedio 2h40', mientras que la probeta sin aceite sólo 5 minutos. En cuanto a la rotura la diferencia también es amplia, 6h30' para la primera, en tanto que la segunda 2h00'

5.11.3. Ensayos de Absorción de Agua Tierra TIII

En el caso de la tierra TIII se ensayaron sólo probetas de 8 Kg/cm² teniendo en cuenta que, con los ensayos anteriores se obtuvieron suficientes datos como para analizar la absorción de agua en función de la compactación.

Probetas de 8kg/cm² c/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	0,50	1,90
P2	0,70	2,10
P3	0,58	1,95
Tiempo medio	0,59	1,98
Tiempo medio sexagesimal	0h 35'	2h 00'

Probetas de 8kg/cm² s/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse (horas en decimal)	Rotura (15%) (Horas en decimal)
P1	0h 02'	0h 14'

5.12. Ensayos de Abrasión Hídrica por Goteo

5.12.1. Ensayos de Goteo Tierra TI

Probetas de 4kg/cm² c/aceite

Probeta	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora	Absorbe agua	Sin impronta a 1h30'
1	0h20'	4 mm	No	-----
2	0h20'	7 mm	No	-----
3	0h16'	8 mm	No	-----

Probetas de 6kg/cm² c/aceite

Probeta	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora	Absorbe agua	Sin impronta a 1h30'
1	0h15'	4,3 mm	No	-----
2	0h30'	5 mm	No	-----
3	0h20'	6,7 mm	No	-----

Probetas de 8kg/cm² c/aceite

Probeta	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora	Absorbe agua	Sin impronta a 1h30'
1	0h55'	1,1 mm	No	-----
2	0h50'	2 mm	No	-----
3	0h52'	1,0 mm	No	-----

Probetas de 8kg/cm² s/aceite

Probeta	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora	Absorbe agua	Sin impronta a 1h30'
1	0h10'	4,65 mm	SI	-----

Observamos una importante diferencia en el comienzo de la impronta, entre la probeta con aceite, promedio: 0h 52' y la probeta sin aceite: 0h 10'. También en la profundidad de la impronta, de 1,35mm promedio para la primera a 4,65mm para la segunda.

5.12.2. Ensayos de Goteo Tierra TII

Probetas de 4kg/cm² c/aceite

Probeta	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora	Absorbe agua	Sin impronta a 1h30'
1	-----	-----	No	SI
2	-----	-----	No	SI
3	-----	-----	No	SI

Probetas de 6kg/cm² c/aceite

Probeta	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora	Absorbe agua	Sin impronta a 1h30'
1	-----	-----	No	SI
2	-----	-----	No	SI
3	-----	-----	No	No (0,5 mm)

Probetas de 8kg/cm² c/aceite

Probeta	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora	Absorbe agua	Sin impronta a 1h30'
1	-----	-----	No	SI
2	-----	-----	No	SI
3	-----	-----	No	SI

Probetas de 8kg/cm² s/aceite

Probeta	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora	Absorbe agua	Sin impronta a 1h30'
1	0h05'	5 mm	SI	-----

El comportamiento de estas probetas en el ensayo de Goteo deberá ser analizado con detenimiento. En principio se puede observar que han sido las de mejor comportamiento, no presentando impronta en el 90% de los casos y que existe una marcada diferencia entre las que están tratadas con aceite y las que no.

5.12.3. Ensayos de Goteo Tierra TIII

En el caso de la tierra TIII se ensayaron sólo probetas de 8 Kg/cm² teniendo en cuenta que, con los ensayos anteriores se obtuvieron suficientes datos como para analizar la Abrasión hídrica en función de la Compactación.

Probetas de 8kg/cm² c/aceite

Probeta	Comienza Impronta	Impronta a 1 hora	Absorbe agua	Sin impronta a 1h30'
1	0,333	7,2 mm	No	-----
2	0,4	6 mm	No	-----
3	0,25	8 mm	No	-----
Tiempo/impronta Media	0,33	7,07 mm		
Tiempo medio	0h 20'			

5.13. Ensayo de Alcock Tierra Tipo TI, TII y TIII

Se tomaron los valores de contracción en cm y se compararon con el largo total de la probeta.

Tabla de valores de contracción lineal

Tipo de Tierra	Contracción (cm)	Largo total	Porcentaje
T2	2,09	61	3,43
T1	2,47	61	4,05
T3	3,22	61	5,28



Figura 34. Gráfico Ensayo de Alcock.

5.14. Desarrollo de la máquina bloquera

El desarrollo de la máquina bloquera para obtener BTC (bloques de tierra comprimida) sin adición de cemento, se basó en dos premisas básicas: la generación de la fuerza a través de un mecanismo hidráulico y un bajo consumo energético. Para ello fue pensada como una máquina lo más simple posible y de accionamiento manual. La tecnología hidráulica se introduce a fin de obtener grandes presiones con poco esfuerzo humano. El modelo se desarrolló para fabricar un sólo bloque por vez a fin de no perder presión al distribuir la fuerza en demasiada superficie.

5.14.1. Etapas del desarrollo

- Se hicieron los planos y con ellos se construyó una maqueta de madera (Figuras 35 y 36).
- Una vez comprobado el funcionamiento básico en la maqueta se comenzó el desarrollo en acero. En esta etapa se introdujeron algunas modificaciones, como refuerzos y manija en la tapa y mesa de apoyo también de acero.
- Se probó su funcionamiento y se hicieron los ajustes necesarios (Figura 37).



Figura 35. Fotografía construcción de la maqueta a escala de la máquina bloquera.



Figura 36. Fotografía de la maqueta terminada.



Figura 37. Fotografía prototipo de máquina bloquera.

5.14.2. Componentes de la máquina bloquera

La máquina está compuesta por (Figura 38):

- Una mesa de apoyo con bandeja para recibir el aceite del hidráulico en caso de pérdidas.
- Una caja-molde con cuatro patas y un soporte para el gato hidráulico.
- Una base móvil, en donde se inserta el gato, encargada de ejercer la compresión sobre el material.
- Una tapa que soporta la compresión y luego de terminado el moldeo, pivota sobre un eje colocado en una esquina a fin de dejar libre la caja para sacar el bloque.
- Un manómetro que indica por analogía la presión que se está ejerciendo sobre el bloque.
- Un gato hidráulico y su palanca para generar la fuerza de compresión.

5.14.3. Resultados funcionamiento máquina bloquera

La máquina funcionó correctamente en la fabricación de bloques, en todas sus etapas (Figura 39):

1. Cargado de la tierra.
2. Compresión del bloque.
3. Interrupción de la presión.
4. Apertura de la tapa.
5. Expulsión del Bloque.
6. Retracción del fondo.

6. DISCUSIÓN

El material con que se trabajó cumplió con las expectativas, ya que respetando la premisa de usar dos tierras obtenidas de excavaciones para fundaciones de edificios y una tercera de una cantera de arcilla para ladrillos, se logró contar con tres tierras de distintas propiedades, sobre todo en cuanto a su Plasticidad.

La clasificación de los tres tipos de tierras dio como resultado tres Arenas Arcillosas: dos de mediana plasticidad y una tercera de baja plasticidad. La importancia de este dato radica en que generalmente son tierras abundantes. La tierra más apta resultó ser la TIII, clasificada como Arena Arcillosa de mediana plasticidad, Límite Líquido = 37,45; Límite Plástico = 21,64 e Índice de plasticidad = 15,81 (ver apartado 5.5) y 23,19% de material pasante el Tamiz N° 200. Se hace evidente, comparando con los valores obtenidos en las otras dos tierras, que lo importante es la plasticidad y la cantidad de partículas menores a 0,075mm. Asimismo se destaca que no necesariamente debe ser un suelo definido como "Suelo de grano fino", según S.U.C.S., o sea con más de 50% de finos, inclusive se puede colegir que la presencia de arena impide la excesiva contracción y le da "cuerpo" a la mezcla.

Es importante destacar los resultados obtenidos en los ensayos a compresión. En las tierras TI, TII y TIII, se obtuvieron valores que permitieron definir un comportamiento en función de las variables independientes. Es decir se estableció que existe una relación que se puede definir



Figura 38. Fotografía de la máquina bloquera con un bloque listo.



Figura 39. Fotografía colaboradores: Tec. Diego Chavarria, Ing. Manuel Zambrano y autor (Ing. Fernando Galindez) junto a la Bloquera.

como función. Si observamos los gráficos siguientes, claramente los valores de Resistencia media a la Compresión van creciendo según aumenta la compactación de las pro-

betas de la misma tierra: gráfico (a) y (b) o los valores de Índice de Plasticidad en los distintos tipos de tierra, gráfico (c) (Figuras 40, 41 y 42).

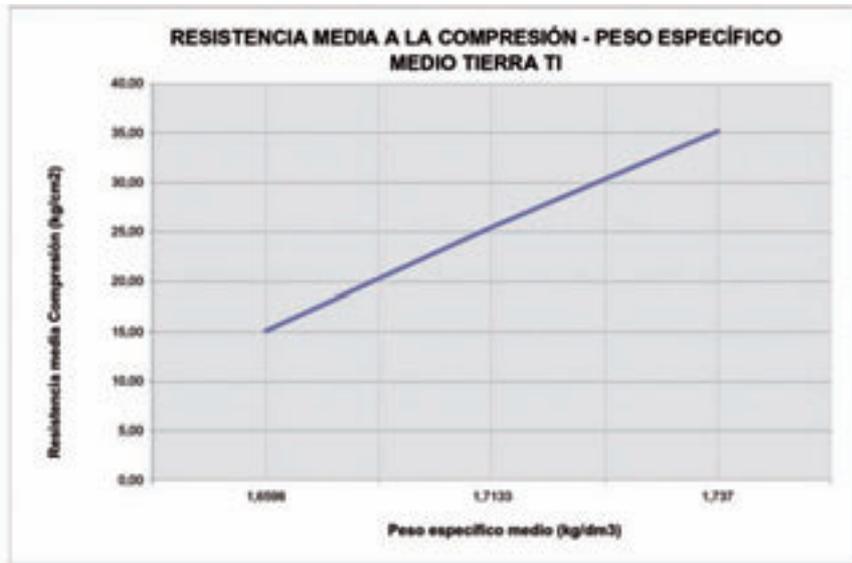


Figura 40. (a) Gráfico Resistencia media a la compresión – Peso específico medio Tierra TI.

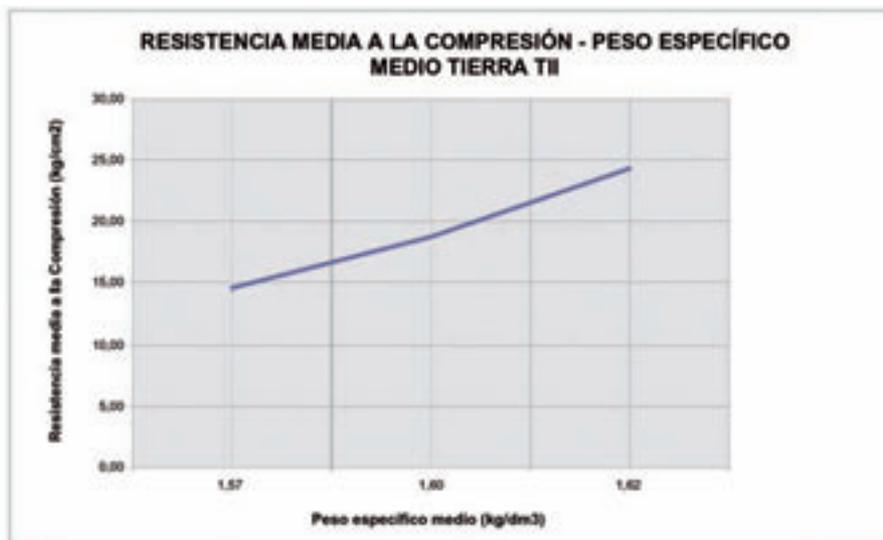


Figura 41. (b) Gráfico Resistencia media a la compresión – Peso específico medio Tierra TII.

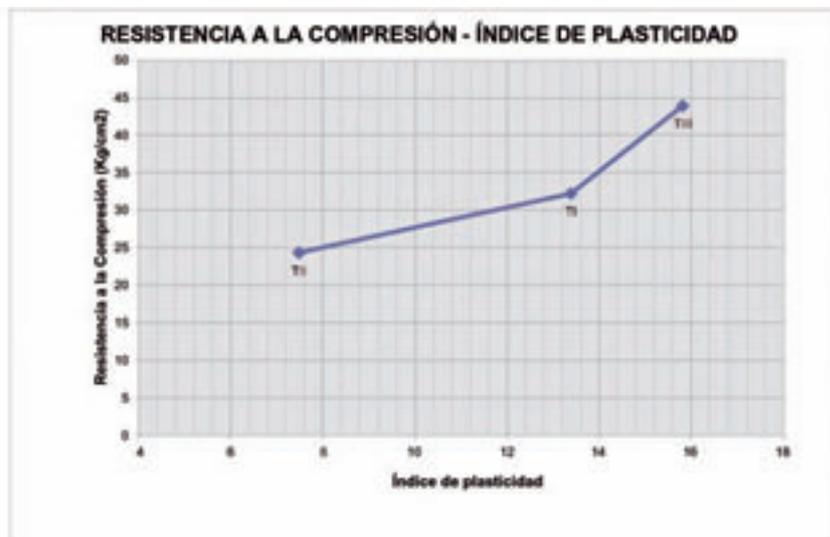


Figura 42. (c) Gráfico Resistencia a la compresión – Índice de plasticidad.

A fin de tener presente las variables que se propusieron en la Metodología se reitera el cuadro de las mismas:

CUADRO DE VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES		TIPO DE SUELO	
		PRESION AL COMPACTAR	
VARIABLES DEPENDIENTES	PROPIEDADES FISICAS		ABSORCIÓN DE AGUA
	PROPIEDADES MECÁNICAS		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
			RESISTENCIA ABRASIÓN HIDRICA

Se comenzó analizando el comportamiento de las tierras, considerando la variable dependiente Resistencia a la Compresión en función de la variable independiente Presión al Compactar. Según los resultados de los ensayos para las tierras TI y TII, se observa en ambos casos que la Resistencia a la Compresión aumenta con el aumento de la presión al compactar (aumento del peso específico), como se puede ver en las figuras 40 (a) y 41 (b). En el gráfico 40 (a) del tipo de tierra TI, para un Peso específico de 1,66gr/cm³ corresponde una resistencia de 15,1kg/cm², para un Peso específico de 1,71gr/cm³ una resistencia de 25,49kg/cm² y para un Peso específico de 1,74gr/cm³ una resistencia de 35,2kg/cm². En el gráfico 41 (b) del tipo de tierra TII, para un Peso específico de 1,57gr/cm³ corresponde una resistencia de 14,56kg/cm², para un Peso específico de 1,60gr/cm³ una resistencia de 18,73kg/cm² y para un Peso específico de 1,622gr/cm³ una resistencia de 24,33kg/cm². Esto vendría a demostrar experimentalmente lo enunciado teóricamente sobre la importancia de lograr un acercamiento de las partículas de arcilla, para obtener con esto un aumento en la fuerza electrostática intermolecular de cohesión.

En cuanto al comportamiento de las tierras analizando la variable dependiente Resistencia a la Compresión, en función de la variable independiente Tipo de Suelo según su plasticidad, manteniendo constante la presión de compactación en 8 kg/cm², se observa en los ensayos de los tres tipos distintos de tierra (TI, TII y TIII), un aumento significativo de los valores de Resistencia a la Compresión cuando el valor de Índice de Plasticidad (I.P.) es

mayor. Para un I.P. = 7,69 tenemos una resistencia de 25Kg/cm², para un I.P. de 13,38 una resistencia de 32,2kg/cm² y para un I.P. de 15,81 una resistencia de 45kg/cm², (ver figura 42). Esto demostraría experimentalmente que a un mayor Índice de Plasticidad (manteniendo constante la presión al compactar) corresponde una mayor Resistencia a la Compresión.

Por un lado verificamos la importancia de aumentar la presión de compactación y por otro la de tener en cuenta la Plasticidad del suelo a usar. ¿Cuáles son los límites de estas variables? El límite de aumento de Presión está dado por una cuestión física para el material y una cuestión mecánica para la máquina que compactará. Por otro lado el límite en la Plasticidad del Suelo viene dado en la circunstancia que está asociado a la Contracción del mismo y dicha Contracción ocasiona problemas de fisuras difíciles de resolver. Luego el criterio será lograr una presión que nos garantice, con un suelo adecuado y la presión necesaria, la resistencia suficiente para construir un muro. Este sería el caso de la tierra TIII compactada a 8 kg/cm² que dio valores de resistencia media a la compresión de 44Kg/cm², valor muy aceptable para un mamuesto tipo BTC.

En relación a la variable dependiente Absorción de Agua los datos más importantes son los que resultan de comparar el comportamiento de las probetas impregnadas en aceite y las que no lo están. Pero es importante destacar que en los ensayos con las tierras TI y TII se determinó que también existe una relación en la Absorción de Agua, con la presión de compactación (ver tablas siguientes).

Tabla de tiempos medios de Absorción - Tierra tipo TI

Presión al Compactar (kg/cm ²)	Tiempo medio comenzó Disgregarse	Tiempo medio Rotura
4,00	0h 20'	1h 50'
6,00	0h 40'	2h 03'
8,00	1h 45'	3h 23'
Probeta 8Kg/cm ² s/aceite	0h 05'	1h 55'

Tabla de tiempos medios de Absorción - Tierra tipo TII

Presión al Compactar (kg/cm ²)	Tiempo medio comenzó Disgregarse	Tiempo medio Rotura
4,00	0h 50'	1h 50'
6,00	2h 43'	6h 56'
8,00	3h 43'	8h 08'
Probeta 8Kg/cm ² s/aceite	0h05'	2h00'

Se observa claramente en las tablas anteriores, en los dos tipos de tierra, que tanto el tiempo en que comenzaron a disgregarse las probetas, como el tiempo medio que llegaron a la rotura, están relacionados con la presión de Compactación, a medida que aumenta la compactación lo hace el tiempo para comenzar a disgregarse y también el de rotura. También se puede verificar que los resultados de los ensayos de la tierra TII dan valores en la mayoría

de los casos, salvo en los de las probetas sin aceite y las compactadas a 4 kg/cm^2 , mayores a los de la tierra TI, por una diferencia que supera las dos veces. Este fenómeno puede indicar que la tierra TII absorbió más aceite que la TI, creando una película de mayor espesor.

En cuanto a la tierra TIII sólo se ensayaron las probetas compactadas a 8 kg/cm^2 y los resultados fueron menores que los de las otras tierras.

Tabla de tiempos medios de Absorción - Tierra tipo TIII

Probetas de 8 kg/cm^2 c/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse	Rotura (15%)
P1	0,50	1,90
P2	0,70	2,10
P3	0,58	1,95
Tiempo medio	0,59	1,98
Tiempo medio sexagesimal	0h 35'	2h 00'

Probetas de 8 kg/cm^2 c/aceite

Probetas	Comienzo Disgregarse	Rotura (15%)
P1	0h 02'	0h 40'

Mientras en la TI (8 kg/cm^2) y la TII (8 kg/cm^2) los tiempos para la rotura son 3h 23' y 8h 08' respectivamente, para la TIII es de 2h 00'. De todos modos este último valor de tiempo para la rotura está muy por arriba de los 40' que le tomó a la probeta sin aceite y si analizamos el tiempo de comienzo de la disgregación, la diferencia es muy significativa de 2' la probeta sin aceite a 35' la probeta con aceite.

Si comparamos el comportamiento de las probetas compactadas a 8 kg/cm^2 sin aceite y con aceite, de las tierras TI y TII, es notoria la diferencia, tanto en el tiempo en que comienzan a disgregarse como en el tiempo de Rotura. En las probetas no tratadas con aceite el tiempo para comenzar a disgregarse es de 0h 05', y en la probeta con aceite, promedio 2h 40' y en cuanto al tiempo

de rotura que para la primera es de promedio 1h 55' y para la segunda es de 5h 30'. Proporcionalmente se achica la diferencia en el tiempo de rotura, fenómeno que podría deberse a que lo más importante de la cobertura de aceite es la demora en la disgregación de las primeras capas de partículas, de ahí que una vez rota esta barrera el proceso sigue el curso normal. Corroboraría este concepto el que los resultados del ensayo para probetas sin aceite de los dos tipos de tierra son casi iguales 5' para comenzar y 2h para terminar, mientras que en las tratadas existe una importante diferencia, ya mencionada en el párrafo anterior.

Respecto a la variable dependiente Abrasión hídrica los resultados de los ensayos guardan cierta similitud de comportamiento con los de absorción de agua.

Tabla de tiempos medios de Abrasión hídrica - Tierra tipo TI

Probetas	Comienza Impronta (tiempo)	Impronta a 1 hora (mm)	Sin Impronta a 1h 30'
Probetas 4 kg/cm^2	0h 19'	6,3	No
Probetas 6 kg/cm^2	0h 22'	5,33	No
Probetas 8 kg/cm^2	0h 52'	1,37	No
Probetas 8 kg/cm^2 s/aceite	0h 10'	4,65	No

Tabla de tiempos medios de Abrasión hídrica - Tierra tipo TII

Probetas	Comienza Impronta (tiempo)	Impronta a 1 hora (mm)	Sin Impronta a 1h 30'
Probetas 4 kg/cm^2	-----	-----	Si
Probetas 6 kg/cm^2	-----	-----	Si
Probetas 8 kg/cm^2	-----	-----	Si
Probetas 8 kg/cm^2 s/aceite	0h 5'	5,00	No

Tabla de tiempos medios de Abrasión hídrica - Tierra tipo TIII

Probetas	Comienza Impronta (tiempo)	Impronta a 1 hora (mm)	Sin Impronta a 1h 30'
Probetas 8 kg/cm ²	0h 20'	7,07	No
Probetas 8 kg/cm ² s/aceite	0h 4'	8,00	No

Los valores más altos son para la tierra tipo TII, siguiendo la TI y por último la TIII. Este fenómeno podría estar relacionado con la Plasticidad de las tierras, que mientras mayor es, menos es la absorción de aceite. Además la tierra TII, según su granulometría, si bien tiene una mayor cantidad de finos, por su ubicación en la Carta de Plasticidad indica que gran porcentaje de ellos son Limos. Igualmente el comportamiento de la tierra TIII con aceite mejora de manera importante respecto a las probetas sin aceite.

Ensayo de Alcock

La importancia de establecer una relación entre el índice de Plasticidad y la Contracción Lineal, según el ensayo de Alcock, radica en la sencillez de este ensayo que nos permitiría en campo determinar si la tierra disponible es apta (Figura 43).

Al observarse el gráfico, Contracción Lineal – Índice de Plasticidad, se puede establecer que efectivamente hay una relación de crecimiento de valores entre ambas variables. Esto permitiría establecer rangos de valores de Contracción Lineal, que permitan determinar si la Tierra es apta.



Figura 43. Gráfico Contracción lineal – Índice de plasticidad.

7. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos con probetas del mismo tipo de tierra comprimidas a diferentes presiones, demuestran empíricamente que la resistencia a la compresión aumenta conforme aumenta la presión de compactación de dichas probetas.
- También se demuestra empíricamente, a partir de los resultados obtenidos con probetas de distintos tipos de tierra, que la resistencia a la compresión aumenta conforme aumenta la plasticidad de dichas tierras.
- La tierra TIII, clasificada como Arena Arcillosa (SM) de mediana Plasticidad, con un Índice de Plasticidad de 15,81 y un Límite Líquido de 26,3 compactada a 8kg/cm² dio valores de resistencia media a la compresión de 44 Kg/cm², valor muy próximo a los valores de resistencia media de los BTC con cemento, además aptos para la construcción de viviendas.
- Para mejorar la resistencia del BTC sin cemento se puede aumentar la compactación y/o hacerlo con tierras de mayor plasticidad. El límite de esas variables está dado por la tecnología propuesta para compactar y por el comportamiento de las arcillas de alta plasticidad cuando pierden humedad. Sin embargo contando con tecnología que logre mayores presiones para arcillas de mayor plasticidad podría lograrse mampuestos de mayor calidad.
- El procedimiento de impermeabilizar los bloques superficialmente con aceite usado, para estabilizar la reacción de las arcillas ante la presencia de agua, dio mejores resultados en arcillas de baja plasticidad. No obstante el comportamiento de las probetas de arcillas de mayor plasticidad tratadas, mejora en proporción de tres a uno respecto a las que no tienen tratamiento.
- En cuanto al comportamiento hídrico de las probetas sin aceite, todos los ensayos dieron valores menores que las probetas con aceite y muy similares entre sí. Este resultado, considerando que todas las probetas ensayadas estaban comprimidas a 8kg/cm², sumado a los obtenidos en las probetas con aceite, podría indicar, que dentro de los valores de plasticidad con que se trabajó, la mayor plasticidad no mejora el comportamiento hídrico. Esto se debería a que el fenómeno de disgregación comienza en la superficie, lugar en donde el mampuesto está más seco, y por lo tanto más propenso a absorber agua por los poros.
- En referencia al ensayo de Contracción Lineal de Alcock se puede establecer que la tierra es apta con valores de contracción entre 3cm a 4cm.

8. BIBLIOGRAFIA

- Alderete, C; Mellace R. *Ensayos Físicos de Suelos y Componentes constructivos de tierra cruda*. Publicaciones LEME. Tucumán 1996.
- Arena, A. P. *Un instrumento para el análisis y evaluación ambiental de productos y tecnologías. El análisis de ciclo de vida. II – Consideraciones metodológicas, usos y limitaciones*. INCIHUSA. CRICYT. Mendoza.
- Arena, A. P. *Un instrumento para el análisis y evaluación ambiental de productos y tecnologías. El análisis de ciclo de vida. II – Adecuación para el sector edilicio*. INCIHUSA. CRICYT. Mendoza.
- Barbeta I Sola, G. *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*. Tesis doctoral. Barcelona, 2002.
- De La Fuente Lavalle, E. *Suelo – Cemento. Sus usos propiedades y aplicaciones*. Instituto Mexicano del cemento y del Concreto. 1995.
- De Olarte, J. L.; Guzmán, T.; Guzmán, E. *Manual de Edificación con Tierra Armada*. Conserjería de política territorial. Madrid, 1993.
- Enteiche, A. *Suelo – Cemento. Su aplicación en la edificación*. Centro Interamericano de vivienda y planeamiento. Bogotá 1963.
- IRAM. *Norma ISO 14.041. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Definición de la meta y el alcance y análisis del inventario*.
- IRAM. *Norma ISO 14.042. Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida*.
- Mchenry Jr, P. G. *Adobe, como construir fácilmente*. México: Trillas. 1996.
- Mellace R; Rotondaro, R. *Ensayos de Suelos. Proyecto de componentes constructivos de tierra cruda*. Publicaciones LEME. Tucumán 1996
- Mitchell, J.; Arena, A.P. *Evaluación Ambiental comparativa de materiales mampuestos aplicados en muros de viviendas en regiones áridas andinas*. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. INCIHUSA. CRICYT. Mendoza.
- Minke, G. *Manual de Construcción para Viviendas Antisísmicas de Tierra*. Forschungslabor für Experimentelles Bauen. Universidad de Kassel, Alemania. 2001.
- Minke, G. *Manual de Construcción en Tierra*. Ed. Fin de Siglo. Uruguay 2005.
- V SIACOT. *Construir con tierra Ayer y Hoy*. INCIHUSA – CRICYT. Argentina. 2006.
- Samaja, J. *Epistemología y metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. Editorial EUDEBA. Buenos Aires, 1993.
- Samaja, J. *Proceso, Diseño y Proyecto en Investigación científica*. JVE Ediciones. Buenos Aires, 2004.
- Samaja, J. *La ciencia como proceso de investigación y dimensión de la cultura*. Inédito.
- Torrente; Sagües. *Estabilización de Suelos. Suelo – Cemento*. Editores Técnicos Asociados. Barcelona.
- Varios. *La Tierra Cruda en la Construcción del hábitat – Memoria seminario 2002 – Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de Tucumán*. Tucumán, 2002.
- Varios. *Memorias del III Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra*. “La tierra cruda en la construcción del hábitat”. Universidad Nacional de Tucumán. 2004.
- Vázquez Espi, M. *Construcción e impacto ambiental: el caso de la tierra y otros materiales*. Madrid, 2001.

Agradecimientos

A FUNDACION MAPFRE por haberme brindado, con su ayuda económica, la posibilidad de desarrollar esta investigación.

A la Universidad Católica de Salta por haberme permitido el uso de sus instalaciones y equipos.

Al Decano de la Facultad de Arquitectura de la UCASAL, Arq. Juan Pedro Colombo Speroni, por su confianza y aliento.

A mis colaboradores Arq. Gabriela Polliotto, Ing. Manuel Zambrano y Tec. Diego Chavarría, por todo el aporte realizado a esta investigación.

A mi tutor Dr. Fernando Camarero Rodríguez, por su asesoramiento y amabilidad.

A mi esposa e hija por su constante apoyo y paciencia.