



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE BIOLOGÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

T E S I S

“CONSTRUCCIÓN CON ADOBE PARA UN ESTILO DE VIDA SUSTENTABLE”

Para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA:

ING. PAOLA RECORDON RAMÍREZ

ASESOR:

DR. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

CO-ASESOR:

DRA. ELIA MERCEDES ALONSO GUZMÁN

Morelia, Michoacán México, enero 2025

Resumen

La construcción con adobe es una técnica milenaria, hoy en día se presenta como una solución viable y sostenible ante los retos medioambientales actuales. Este proyecto explora las propiedades y ventajas del adobe, enfocándonos en como este tipo de viviendas aporta a un estilo de vida más sustentable, en términos de impacto ambiental, costos y eficiencia energética. La investigación incluye una serie de pruebas experimentales para evaluar sus propiedades físico - mecánica, el comportamiento con el agua. Los resultados demuestran que el adobe no solo es un material ecológico, sino también eficiente y duradero cuando se emplean técnicas adecuadas de fabricación y construcción. Asimismo, se discuten las barreras sociales y económicas que dificultan su adopción en la construcción moderna y se proponen estrategias para promover su uso. En conclusión, el adobe se destaca como una alternativa viable y sostenible que puede contribuir significativamente a la reducción del impacto ambiental de la industria de la construcción.

En el presente trabajo se analizaron dos muestras provenientes de bancos de adobe dentro de la ciudad de Morelia en el estado de Michoacán. La primera de ellas se obtuvo de un banco ubicado en Simpanio Norte al suroeste de la ciudad, y las segundas muestras se obtuvieron de Jesús del Monte un municipio que ya se encuentra prácticamente dentro de la mancha urbana de la ciudad de Morelia, ubicado en la región sur. De cada uno de ellos se obtuvieron 30 bloques de adobe y suelo con el que se fabrican.

El proyecto consta de dos partes; La primera parte es la parte teórica donde analizamos el material de acuerdo al concepto de sustentabilidad y los aportes sociales, culturales y ambientales que este nos brinda. Por otro lado, la segunda parte analiza el comportamiento mecánico que presenta. La experimentación se llevó a cabo en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” donde se realizaron tanto pruebas destructivas, como pruebas no destructivas.

Los resultados de esta investigación nos permiten una visión amplia que junto con la parte teórica nos brinda un análisis más holístico, donde logramos entender el aporte que nos brinda en lo económico, cultural y ambiental.

Á

Ú

Summary

Adobe construction is an ancient technique that today is presented as a viable and sustainable solution to today's environmental challenges. This project explores the properties and advantages of adobe, focusing on how this type of housing contributes to a more sustainable lifestyle, in terms of environmental impact, costs and energy efficiency. The research includes a series of experimental tests to evaluate the physical-mechanical properties, water behavior and other physical-chemical properties of adobe. The results demonstrate that adobe is not only an environmentally friendly material, but also efficient and durable when proper fabrication and construction techniques are employed. In addition, the social and economic barriers that hinder its adoption in modern construction are discussed and strategies to promote its use are proposed. In conclusion, adobe is highlighted as a viable and sustainable alternative that can contribute significantly to reducing the environmental impact of the construction industry.

In the present work, two samples from adobe benches within the city of Morelia in the state of Michoacán were analyzed. The first one was obtained from a bench located in Simpanio Norte, southwest of the city, and the second samples were obtained from Jesús del Monte, a municipality that is practically within the urban area of the city of Morelia, located in the southern region. From each of them, 30 adobe blocks and the soil from which they are made were obtained.

The project consists of two parts; The first part is the theoretical part where we analyze the material according to the concept of sustainability and the social, cultural and environmental contributions that it provides. On the other hand, the second part analyzes the mechanical behavior of the material. The experimentation was carried out at the Materials Laboratory "Ing. Luis Silva Ruelas" where both destructive and non-destructive tests were performed.

The results of this research allow us a broad vision that together with the theoretical part gives us a more holistic analysis, where we can understand the economic, cultural and environmental contribution.

Dedicatoria

A Adrián, por siempre estar presente y por impulsarme a alcanzar mis metas personales y profesionales. A mi papá por inculcarme el amor por la ingeniería.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo que a través de la Facultad de Ingeniería Civil y el programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental hacen posible estos proyectos de investigación junto con el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruedas.

Gracias a mi asesores, maestros y compañeros que me transmitieron todo su conocimiento siempre con una sonrisa-

Índice general

.....	1
Resumen	i
Summary	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos.....	v
Índice general.....	vi
Índice de figuras.....	ix
Indice de tablas	xi
Planteamiento del problema.....	1
Objetivo	2
Objetivos particulares.....	2
Introducción.....	3
Justificación.....	5
Hipótesis.....	6
Marco teórico.....	7
La Tierra como Material de Construcción	7
Técnicas de construcción con Tierra.....	7
- Tapial	7
- Cob.....	8
- Bloque de tierra comprimido (BTC).....	9
- Adobe.....	10
Estado del arte.....	11
Normativa en materia.....	12
El adobe a través del tiempo	14
El adobe en México.....	19
Sustentabilidad.....	21
Desarrollo sustentable	23
La sustentabilidad en la construcción	25
Las tendencias en la construcción sustentable.....	28
Teoría de análisis de ciclo de vida	34

Teoría de análisis de ciclo de vida en adobes.	36
Construcción con adobe para un estilo de vida sustentable-	38
Propiedades de la construcción con bloques de adobe:	38
Experimentación.....	40
Distribución granulométrica.....	40
Objetivo:.....	40
Normativa:	40
Material y equipo:	41
Procedimiento:.....	41
Límites de Atterberg	44
Estado semilíquido:.....	45
Estado plástico.....	45
Estado semisólido	45
Estado sólido	45
Límite líquido.....	46
Límite plástico	49
Índice plástico	50
Contracción lineal y volumétrica.....	51
Contracción lineal (CL).....	52
Contracción volumétrica (CV)	53
Experimentación II (ND)	54
Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU).....	54
Objetivo.....	54
Normativa	54
Procedimiento:.....	55
Resistividad Eléctrica (RE).....	56
Normativa	57
Procedimiento	57
Fagerlünd o Absorción Capilar.....	58
Normativa	58
Material	59
Procedimiento	59

Esfuerzo de ruptura a compresión simple.....	63
Normativa	63
Procedimiento	63
Esfuerzo de ruptura a la flexión	65
Normativa	65
Procedimiento	65
Ensayo de corte triaxial (UU)	67
Normativa	68
Material	68
Procedimiento	68
Resultados	72
Distribución granulométrica.....	72
Simpanio Norte	73
Límites, CL, CV Y SUCS	77
Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)	85
Resistividad Eléctrica	87
Fagerlünd o Absorción capilar.....	89
Esfuerzo de Ruptura a Compresión Simple	92
Esfuerzo de Ruptura a la Flexión	94
Esfuerzo Triaxial.....	100
Conclusiones.....	101
Bibliografía.....	104

Índice de figuras

Figura 1: Construcción Tapial.....	8
Figura 2: Construcción de Cob:.....	9
Figura 3: Bloque de Tierra Comprimida (BTC).....	10
Figura 4: Fabricación de bloques con adobe.....	11
Figura 5: Restos de la Torre de Babel en la antigua Babilonia	15
Figura 6: Göbekli Tepe en la actualidad.....	16
Figura 7: Saná, Yemen. Ciudad de adobes	17
Figura 8: Ruinas de Chan Chan, Perú.	17
Figura 9: Vivienda de lujo Santa Fe, Nuevo México. Construida en adobe.....	19
Figura 10: Objetivos de Desarrollo Sostenible.	22
Figura 11: Zero Energy Building Powerhouse Brattorkaia.....	29
Figura 12: Placa de certificación LEED edificio BBVA	30
Figura 13: Torre Reforma, Certificación LEED Platino.....	31
Figura 14: Construcción modular	33
Figura 15: Juego de mallas.....	41
Figura 16: Tendido de material.....	42
Figura 17: Llenado y enrasado de molde	42
Figura 18: Material retenido de granulometría fina.....	43
Figura 19: Saturación de material fino para lavado.....	43
Figura 20 Lavado de la muestra.....	44
Figura 21: Homogeneizado de la muestra	47
Figura 22: Material colocado en copa de Casagrande	47
Figura 23: Muestra en copa de Casagrande con ranura	48
Figura 24: Muestra LL en estado seco del suelo.....	49
Figura 25: Muestras de límites de consistencia secas	50
Figura 26: Muestra seca CL.....	52
Figura 27: Muestras CL y CV secas.....	53
Figura 28: Desplazamiento de mercurio CV.....	53
Figura 29: Calibración y preparación del equipo de VPU.....	55
Figura 30: Toma de lectura de VPU.....	56
Figura 31: Preparación del espécimen para RE.....	57
Figura 32: Resistómetro Mc Miller.....	58
Figura 33: Cubriendo caras del espécimen con parafina y brea	59
Figura 34: Especímenes acondicionados.....	60
Figura 35: Medición de cada uno de los lados de nuestros especímenes	60
Figura 36: Especímenes colocados para prueba de absorción.....	61
Figura 37: Especímenes cabeceados para probar a compresión	63
Figura 38: Especímen colocado en equipo para compresión.	64
Figura 39: Fallo de espécimen a compresión.....	64
Figura 40: Vigas marcadas para probar a flexión.....	65
Figura 41: Especímen M-SN-02 colocado en prensa para ensaye	66

<i>Figura 42: Espécimen presentando falla a flexión.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 43: Labrado de especímenes para prueba triaxial</i>	<i>69</i>
<i>Figura 44 Colocación de espécimen cubierto de látex.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 45 Cámara triaxial colocada en prensa y llena de agua.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 46 Espécimen fallado con presencia de grieta.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 47 Resultados CL Y CV M-SN.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 48 Tabla de clasificación SUCS.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 48 Gráfica de plasticidad del SUCS.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 50 Resultados CL Y CV M-JM</i>	<i>83</i>
<i>Figura 51 Clasificación SUCS de M-JM.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 52 Clasificación SUCS Muestras M-SN, M-JM</i>	<i>85</i>
<i>Figura 53 Resultado de muestras M-JM</i>	<i>90</i>
<i>Figura 54 Muestras M-JM vistas desde abajo.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 55 Resultado de muestras M-SN</i>	<i>91</i>
<i>Figura 56 Vista por debajo muestras M-SN-01 y M-SN-02</i>	<i>91</i>
<i>Figura 57 Vista por debajo muestras M-SN-03, M-SN-04, M-SN-05.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 58 Esfuerzo a compresión simple antes de falla</i>	<i>93</i>
<i>Figura 59 Esfuerzo a compresión simple después de falla</i>	<i>93</i>
<i>Figura 60 Muestra M-JM-V-3 sin fallas.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 61 Muestra M-JM-V-3 presentando la primera grieta.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 62 Muestra M-JM-V-3 completamente fallada.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 63 Muestra M-JM-V-3 y sus fibras</i>	<i>99</i>

Índice de tablas

Tabla 1 : Tiempos de lectura para prueba de absorción capilar.....	62
Tabla 2: Tiempos de lectura para prueba de absorción capilar.....	62
Tabla 3 Granulometría gruesa M-SN.....	73
Tabla 4 Granulometría fina M-SN.....	73
Tabla 5 Distribución granulométrica M-SN.....	74
Tabla 6 Porcentajes correspondientes de grava, arenas, finos M-SN.....	74
Tabla 7 Granulometría gruesa M-JM.....	75
Tabla 8 Granulometría fina M-JM.....	76
Tabla 9 Distribución granulométrica M-JM.....	76
Tabla 10 Porcentajes correspondientes grava, arena y finos M-JM.....	77
Tabla 11 Límite líquido M-SN.....	77
Tabla 12 Límite plástico M-SN.....	78
Tabla 13 CL y CV M-SN.....	79
Tabla 14 Resultados Muestra SN.....	81
Tabla 15 Límite líquido M-JM.....	81
Tabla 16 Límite plástico M-JM.....	82
Tabla 17 CL y CV M-JM.....	82
Tabla 18. Clasificación SUCS M-JM.....	84
Tabla 19 Velocidad de Pulso M-SN y M-JM.....	86
Tabla 20 Resistividad eléctrica M-SN y M-JM.....	88
Tabla 21 Comparativa RE M-SN y M-JM.....	88
Tabla 22 Absorción capilar de muestras.....	89
Tabla 23 Compresión simple M-CS y M-JM.....	92
Tabla 24 Esfuerzo a flexión M-SN y M-JM.....	96
Tabla 25 Segundo esfuerzo a flexión de muestras M-SN y M-JM.....	97
Tabla 26 Cohesión y ángulo de fricción M-SN.....	100
Tabla 27 Cohesión y ángulo de fricción M-JM.....	101

Planteamiento del problema

La construcción con adobe ha sido una práctica común y duradera en muchas culturas a lo largo de la historia debido a su adaptabilidad a diversas condiciones climáticas y geográficas. Este material, compuesto principalmente de tierra y fibras naturales, es abundante, reciclable y posee excelentes propiedades térmicas y acústicas, lo que lo hace ideal para construcciones sostenibles. Sin embargo, en la actualidad, el uso de adobe enfrenta varios desafíos que dificultan su adopción en la construcción moderna. Por un lado, existe una percepción negativa en la que el adobe es considerado un material de bajo estatus social y, en muchos casos, de limitada durabilidad. Esta percepción se agrava por la falta de normativas específicas que regulen su uso y aseguren su desempeño estructural, lo que provoca desconfianza y dificulta su integración en proyectos de infraestructura contemporáneos. A pesar de sus múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos, los obstáculos legales y las barreras culturales continúan frenando su adopción. Este proyecto de investigación busca analizar estos problemas y proporcionar evidencia tanto teórica como experimental de las propiedades mecánicas. Al abordar estos desafíos, el estudio pretende establecer un marco normativo que permita promover el uso de adobe como una alternativa viable y sostenible para la construcción moderna.

Objetivo

El objetivo principal de este estudio es evaluar el uso de bloques de adobe como un material de construcción sostenible y viable en el contexto actual. A través de un enfoque holístico, se busca analizar las propiedades mecánicas y aspectos teóricos del adobe, así como su impacto en la sostenibilidad y el desarrollo de la construcción sustentable. La investigación abarca desde la caracterización del material a través de pruebas destructivas y no destructivas, hasta su uso de manera contemporánea y las ventajas que sugieren. También se pretende explorar los factores sociales y económicos que influyen en su adopción, identificando las barreras existentes y proponiendo estrategias para superarlas. Este análisis integral busca validar científicamente las ventajas del adobe, contribuyendo así a su reconocimiento y aplicación en proyectos de infraestructura sustentable. Al final, se espera que este estudio proporcione fundamentos sólidos que respalden el uso de adobe en la construcción moderna y promuevan su integración en las normativas de construcción

Objetivos particulares

- Examinar y resaltar los beneficios ambientales y sociales del uso del adobe, analizando su contribución a las prácticas de construcción sostenibles empleadas en la actualidad
- Caracterizar los bloques de adobe de bancos de adobe ubicados en la ciudad de Morelia

Introducción

La construcción con adobe ha sido una práctica común en muchas culturas a lo largo de la historia, adaptándose a diversas condiciones climáticas y geográficas. En el contexto contemporáneo, marcado por la urgencia de encontrar soluciones sostenibles y reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción, el adobe resurge como una opción prometedora. Este material, compuesto principalmente de tierra y fibras naturales, posee características que lo hacen ideal para la construcción sostenible: es abundante, reciclable, y tiene excelentes propiedades térmicas y acústicas. A pesar de sus múltiples beneficios, la adopción del adobe en la construcción moderna enfrenta desafíos significativos, tales como la falta de normativa específica que regule su uso y la percepción errónea de ser un material que representa algún estatus social bajo y que no es lo suficientemente resistente. Este proyecto explora y valida los beneficios del adobe a través de la teoría y la práctica. Se analizarán aspectos como la resistencia mecánica, la absorción de agua, y la eficiencia energética de las construcciones de adobe. Asimismo, se discutirán las barreras sociales y económicas que impiden su adopción generalizada y se propondrán estrategias para superar estos obstáculos. Proporcionando evidencia sólida que promueva la adopción del adobe en proyectos de construcción sostenible, contribuyendo así a la reducción del impacto ambiental de la industria de la construcción y mejorando la calidad de vida de las comunidades.

A pesar de que la construcción en tierra ha estado presente desde hace miles de años, la normativa al respecto es muy deficiente, debido a que las investigaciones existentes son insuficientes (Cid et al., 2011). Por lo que la estandarización del material siempre ha sido uno de sus mayores retos, ya que se encuentra en todo el mundo, pero sus características siempre son diferentes.

En la actualidad son pocos los países que cuentan con normativas para la construcción en tierra. En los últimos años entre los trabajos de normalización destacan Colombia y España, con la publicación de nuevas normas, Chile, Ecuador,

México, Nicaragua, desarrollando futuras normas; o Perú modificando documentos ya existentes (Cid et al., 2011).

Esta tesis tiene como objetivo proporcionar una visión amplia del uso de bloques de adobe como material de construcción hoy en día. Demostrando su viabilidad de acuerdo a sus propiedades mecánicas y como aporta su implementación para llevar un estilo de vida más sustentable. Todo esto analizado desde una perspectiva holística exponiendo todas las áreas que se ven beneficiadas al optar por materiales más amigables con el ambiente.

Para la metodología se diseñó un plan de trabajo de tal manera que se desperdiciara la menor cantidad material posible. El primer paso fue medir y pesar cada uno de los bloques, para posteriormente labrar y cortar los especímenes requeridos (cubos, vigas y cilindros); posteriormente se realizaron los ensayos correspondientes a cada espécimen. Los ensayos están divididos en dos grupos: destructivos (D) y no destructivos (ND). Se realizaron primero los ND y luego los D. Los ensayos realizados fueron: colorimetría, frecuencia fundamental longitudinal, velocidad de pulso ultrasónico, módulo de elasticidad, esfuerzo de ruptura a la compresión simple, esfuerzo de ruptura a la flexión, distribución granulométrica, límites de Atterberg, esfuerzo por método de carga puntual, potencial de hidrogeno, triaxial UU, humedad actual, absorción capilar y resistividad eléctrica. En cada uno de los ensayos se describen los especímenes y equipo utilizados, así como, el procedimiento y la norma que lo rige.

Justificación

La construcción con adobe representa una alternativa sostenible en un mundo cada vez más consciente de la necesidad de adoptar prácticas ecológicas y responsables. El adobe, como material de construcción, no solo ofrece beneficios ambientales significativos, sino también ventajas económicas y sociales. Su bajo costo y la posibilidad de fabricación local lo hacen accesible desde el punto de vista económico y ambiental. Además, su capacidad para regular la temperatura y la humedad interior mejora notablemente la calidad de vida de los habitantes, proporcionando un ambiente más saludable y confortable. Por lo que este proyecto busca resaltar estas ventajas y contribuir al resurgimiento del adobe como un material viable y moderno para la construcción, enfrentando los prejuicios que lo consideran anticuado. Al promover el uso del adobe, se espera incentivar la adopción de prácticas constructivas más sostenibles, que a su vez puedan reducir el impacto ambiental y fomentar un desarrollo más equitativo y responsable.

Hipótesis

La construcción con adobe puede ofrecer un nivel de sostenibilidad de la mano con su eficiencia físico–mecánica. Se plantea que el suelo, al ser un material natural y localmente disponible, puede reducir significativamente la huella de carbono asociada a la construcción, debido a los menores costos de producción y transporte. Además, se espera que los edificios construidos con adobe presenten una mejor regulación térmica, lo que resultaría en un menor consumo energético para calefacción y refrigeración. Sustentado en las metodologías, certificaciones e investigaciones, relevantes y en tendencia que podemos ver hoy en día. El objetivo es demostrar que el adobe no solo es una opción viable desde una perspectiva ecológica, sino también una alternativa eficiente y económica para la construcción sostenible.

Marco teórico

La Tierra como Material de Construcción

El ser humano comenzó a construir viviendas desde el momento que se volvió sedentario. Siendo la tierra uno de los recursos más abundantes y de fácil acceso. El material cuenta con un buen comportamiento mecánico, beneficios económicos y ecológicos.

La construcción con tierra ha dado un paso adelante en los procesos de fabricación. Con la industrialización de los materiales de tierra se mejoran las características naturales del material y se garantizan unas calidades óptimas para su empleo y puesta en obra, reduciendo los tiempos de ejecución. (Bestraten et al., 2011)

A continuación, se describirá de manera breve las diferentes técnicas de construcción que existen con tierra cruda, cada una de estas técnicas tienen variaciones dependiendo la región o el proyecto. Así mismo existen proyectos que utilizan técnicas mixtas es decir dos o más alternativas.

Técnicas de construcción con Tierra

- Tapial

La técnica del Tapial se define como tierra amasada y apisonada en un encofrado para formar muros monolíticos. (Bestraten et al., 2011) Es decir, se va compactando la tierra la cual está dentro de un molde mediante impactos sucesivos con ayuda de un pisón.

La tapia, en muchos lugares y situaciones, puede responder positivamente a los desafíos en el actual escenario, por lo tanto, cuando es empleada apropiadamente, tiene bajo consumo de energía en el proceso de producción, en general no necesita transportar materia prima y es reciclable, pues cuando se

demuelen, las paredes vuelven casi por completo a su condición original de suelo. Además de estas características, la tapia tiene excelente inercia térmica y permite el intercambio de humedad con el ambiente, garantizando así menor o nulo consumo de energía de acondicionamiento de aire en los locales construidos. (Fabio Gatti, 2022).

Las capas suelen hacerse en espesores de 10 a 15 cm y el espesor de los muros va desde los 40 cm hasta los 2 metros. A diferencia de construir con bloques de adobe, el tapial trabaja de manera monolítica y tiene un buen comportamiento.



Figura 1: Construcción Tapial

Fuente: <https://construyediferente.com/tapial-tecnica-antigua-nueva/>

- Cob

La técnica del cob consiste en una masa de barro y abundante paja que se apila y moldea a mano para formar muros monolíticos. La composición del material es parecida al adobe, pero el moldeado se realiza directamente en el muro sin previo confinamiento en un paralelepípedo. (Bestraten et al., 2011)

El cob es un sistema tradicional de construcción con tierra utilizado durante cientos de años en el sudeste del Reino Unido. Para las arquitectas Jill Smallcombe y Jackie Abbey, el cob es una técnica con cualidades esculturales excepcionales.

Su textura y resistencia les ha permitido explorar en cuestiones de forma, ligereza, escala y contraste. (Bestraten et al., 2011)

Forma parte de las técnicas vernáculas de construcción con tierra. Consiste en apilar terrones, hechos de una mezcla de tierra plástica, para construir una pared monolítica. Al igual que otras técnicas de construcción con tierra, el cob encontró un renovado interés por su bajo impacto ambiental en comparación con los materiales de construcción convencionales. (Hamard et al., 2016)



Figura 2: Construcción de Cob:
Fuente: <https://ervnaturalbuilding.weebly.com/cob.html>

- **Bloque de tierra comprimido (BTC)**

El bloque de tierra comprimido se caracteriza por ser un paralelepípedo de tierra que se prensa mecánicamente, suele llevar una pequeña proporción de cal o cemento y se deja secar al aire para formar muros de fábrica. Podríamos decir que el BTC es un tapial confinado en tamaños pequeños pero las dosificaciones, así como el contenido de humedad y la presión aplicada en el proceso de ejecución son semejantes. Las medidas más habituales son 10 x 15 x 30 cm. (Bestraten et al., 2011)

El bloque de tierra comprimida es una de las técnicas de construcción más representativas en tierra cruda, debido a su posibilidad de industrialización y producción a gran escala de manera rápida y económica, que lo hace una alternativa viable, durable y sostenible para todo tipo de obra ya que se comporta como un prefabricado tradicional con la diferencia de que no produce CO₂. (Ernesto Angulo Jaramillo & Katherine Carreño Charry, 2017)



Figura 3: Bloque de Tierra Comprimida (BTC).

Fuente: <https://apuntesdearquitecturadigital.blogspot.com/2015/01/bloques-de-tierra-comprimida-tecnologia.html>

- **Adobe**

Por último hablaremos de los bloques de adobe en donde este proyecto de investigación está enfocado. El adobe es una masa de barro mezclada con paja, que se coloca en moldes las dimensiones aproximadas son de 35x20x10 cm, pero las dimensiones pueden variar de acuerdo con el artesano productor.

La gran diferencia con el tapial y el BTC es la cantidad de agua necesaria en el proceso de fabricación. Esta elevada cantidad de agua que se evapora en su proceso de secado requiere de la presencia de fibras vegetales que evite las fisuras por retracción. En el tapial y el BTC, dado que las tierras tienen menor presencia de arcillas y mayor contenido de limos y arenas, sumado a una presencia menor de humedad, hacen normalmente innecesaria la adición de fibras.



Figura 4: Fabricación de bloques con adobe.

Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/944575/adobe-el-material-reciclable-mas-sostenible>

Estado del arte

El estudio de los sistemas constructivos en tierra como material tradicional, además de ser considerados como un aporte a la arquitectura sostenible, así como el desarrollo de viviendas de barro por su relación directa con la construcción ecológica y de bajo costo, logran altos estándares de calidad en la habitabilidad en viviendas vernáculas. Tomando en cuenta la riqueza cultural que esta posee y los beneficios que conlleva tener una vivienda tradicional en tierra, ha buscado mejorar las propiedades físico-mecánicas del adobe, añadiendo fibras naturales y artificiales que podrían ayudar a optimizar su resistencia. Las pruebas experimentales de los procedimientos de construcción de las piezas de adobe, probetas, especificaciones de ensayo, análisis de resultados y caracterización de las principales propiedades mecánicas del adobe como son módulo de elasticidad, resistencia a la compresión,

cortante y flexión; fueron realizadas debido a la necesidad primordial de una norma, pues actualmente no existe, para realizar los ensayos en este tipo de material. (Brito et al., 2021)

El suelo apropiado para fabricar adobes deberá ser preferentemente de una cantera, el mismo no debe ser de cultivo y debe contener entre 25% a 45% de limo y arcilla, completando el resto de arena; la porción máxima de arcilla estará entre 15% y 17%. (Brito et al., 2021)

Normativa en materia

A diferencia de otros materiales los adobes se fabrican principalmente a partir de tierra, agua y a veces otros materiales como paja o estabilizantes como el cemento o la cal. La composición exacta de los materiales puede variar significativamente según la región geográfica, lo que dificulta la estandarización.

Los adobes suelen ser fabricados de manera artesanal en el lugar de construcción. Esto puede llevar a variaciones en las propiedades del material debido a diferencias en las técnicas de fabricación y las condiciones ambientales.

Actualmente México no cuenta con ninguna normativa específica ya sea para el proceso constructivo con adobe o el análisis mecánico del mismo. Por lo que para esta investigación se utilizaron y consultaron normas mexicanas (especificadas en cada una de las pruebas realizadas). Junto con la siguiente normativa internacional.

En Perú la normativa para adobes se encuentra regulada por el Ministerio de Vivienda y Construcción y Saneamiento la cual establece la norma: Norma Técnica de Edificación E.050 Materiales de Tierra para Edificaciones. La cual establece los requisitos mínimos que deben cumplir los materiales de tierra curda (cualquiera de sus variaciones) para ser utilizados en las edificaciones en Perú. Comprende aspectos relacionados con la calidad del material, los métodos de fabricación, los ensayos de laboratorio y las especificaciones para su uso adecuado.

Estos son algunos de los parámetros que establece:

Propiedades físicas y mecánicas:

La resistencia a la compresión de los adobes no debe ser menor de 35 kg/cm² (0,3438 MPa) para adobes de uso estructural.

Para adobes de uso no estructural, la resistencia a la compresión no debe ser menor de 15 kg/cm² (0,1471 MPa).

La absorción de agua de los adobes no debe ser mayor al 20% en peso después de 24 horas de inmersión en agua.

El contenido de humedad de los adobes al momento de su utilización en la construcción no debe ser mayor al 5%.

Las dimensiones de los bloques deben ser 30cmx15cmx10cm

El módulo de elasticidad de los adobes debe ser mayor a 400 kg/cm²

Algunos otros parámetros que establece la norma se refieren a:

Materiales; donde especifica los materiales permitidos para la fabricación de adobes, incluyendo la tierra cruda, agua y posibles aditivos.

Métodos de fabricación; define los procedimientos adecuados para la preparación de la mezcla, así como su secado y almacenamiento adecuado.

Ensayos de laboratorio; Detalla los ensayos de laboratorio que deben realizarse para verificar que los adobes cumplen con los requisitos establecidos.

Uso en la construcción; especifica las condiciones de uso de los adobes en la construcción de muros y otras estructuras.

Para España existe normativa en cuanto a Bloques de Tierra Comprimidos (BTC) UNE41420:2023: Establece los requisitos y métodos de ensayo para los bloques de tierra comprimida destinados a ser utilizados en la edificación. Especifica los materiales permitidos, que incluyen tierra cruda, estabilizantes y otros aditivos.

Además, establece las dimensiones y tolerancias permitidas para los bloques, incluyendo longitud, altura y espesor. Define los requisitos mínimos de resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad aparente y otras propiedades físicas y mecánicas relevantes. Por último, describe los métodos de ensayo para determinar estas propiedades, como la resistencia a la compresión, la absorción de agua y la densidad aparente, entre otros, asegurando así la calidad y la seguridad de los bloques de tierra comprimida utilizados en la construcción.

El adobe a través del tiempo

Actualmente el 50 por ciento de las casas del mundo están construidas con este material. La utilización del adobe representa una alternativa viable para resolver el problema de la falta de vivienda, a través de la propuesta de una casa auto construible de bajo costo. Sin embargo, una limitante para desarrollar tal alternativa consiste en que la mayoría de las técnicas constructivas tradicionales que utilizan materiales obtenidos a partir del suelo son resultado del conocimiento empírico. Dicho conocimiento generalmente es asistemático, varía en cada cultura y región y carece de una terminología interdisciplinaria. Por lo tanto, difícilmente esta opción ofrece, de modo directo, una base tecnológica universalmente válida. (Sociedad et al., 2012)

A lo largo de la historia, el adobe ha sido uno de los materiales de construcción más antiguos y utilizados en todo el mundo. Su uso se remonta a miles de años y ha dejado huella significativa en la arquitectura de diversas culturas y civilizaciones.

El adobe ha experimentado variaciones en su técnica a través de los años, adaptándose a las necesidades y recursos de cada región. Desde las antiguas civilizaciones mesoamericanas y egipcias, hasta las construcciones contemporáneas, el adobe ha sido utilizado en una amplia variedad de estructuras, desde viviendas hasta templos y fortificaciones.

El adobe se utiliza en muchas partes del mundo debido a su bajo costo, disponibilidad y su carácter ecológico. En las últimas décadas este tipo de construcciones ha sufrido abandono y desplazamiento debido a materiales y técnicas constructivas contemporáneas. (Sánchez-Calvillo et al., 2021)

Casi desde el inicio de la historia de las civilizaciones, el hombre ha utilizado la tierra arcillosa para construir. Es un principio inmediato, que fue adoptado en el momento que el hombre decidió asentarse permanente en un territorio. No siempre se disponía de madera, o de piedra de fácil trabajar para la construcción. (Fabio Gatti, 2022)

Los primeros vestigios de construcción en tierra datan del Neolítico (6.000-10.000 años de antigüedad), y están situados en Mesopotamia entre el Tigris y el Éufrates. (Fabio Gatti, 2022)



Figura 5: Restos de la Torre de Babel en la antigua Babilonia

Fuente: <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-antigua/20210419/6839022/busca-torre-babel.html>

Göbekli Tepe es un sitio arqueológico el cual hoy en día es considerado el primer templo de la historia de acuerdo al arqueólogo alemán Klaus Schmidt, data igualmente del periodo Neolítico, teniendo hoy en día más de 11,000 años de antigüedad.



Figura 6: Göbekli Tepe en la actualidad

Fuente: National Geographic

La Ciudad Vieja de Saná, capital de Yemen, es una de las ciudades más antiguas continuamente habitadas del mundo, con sus orígenes datando del siglo II. Cuenta con más de 6000 casas construidas de adobe las cuales cuentan con múltiples niveles. Desde el año de 1986 fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO debido a su valor cultural y bien conservado patrimonio arquitectónico.



Figura 7: Saná, Yemen. Ciudad de adobes

Fuente: National Geographic

Chan Chan ubicada en la costa norte de Perú fue la ciudad de barro más grande del mundo, construida en el siglo IX por la civilización Chimú. Como capital del Reino Chimú, Chan Chan abarcaba alrededor de 20 kilómetros cuadrados, con grandes plazas, templos, y residencias. En 1986, Chan Chan fue declarada Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, reconociendo su importancia histórica y cultural.



Figura 8: Ruinas de Chan Chan, Perú.

Fuente: UNESCO

En el año de 1940 el arquitecto egipcio Hassan Fathy diseñó un proyecto innovador de arquitectura sostenible. Fathy empleó técnicas tradicionales de ladrillos de adobe para crear viviendas asequibles y ecológicas para la población local. El pueblo incluye casas, una mezquita, un teatro y un mercado, todos contruidos con materiales locales e incorporando elementos de la arquitectura vernácula, como cúpulas y bóvedas, para mejorar la refrigeración natural. Este proyecto es celebrado por su enfoque humanista de la arquitectura, fusionando necesidades modernas con métodos tradicionales y ha influido en las prácticas de construcción sostenible a nivel mundial. (Hassan Fathy, 2010)

Como podemos observar la construcción con adobe ha sido una constante en las civilizaciones y ha demostrado durabilidad debido a los antiguos vestigios arquitectónicos que se encuentran de pie hoy en día. La construcción con adobe sigue siendo muy popular hoy en día y es considerada la construcción “tradicional” en zonas rurales de Perú como son Ayacucho y Cusco. En la zona del altiplano de Bolivia las viviendas están contruidas en adobe en su mayoría haciendo uso de los recursos naturales de la zona. Al igual que países como Yemen y Marruecos donde llegan a altas temperaturas debido a sus grandes desiertos y sus viviendas son en su mayoría igualmente de adobe, adaptándose a las condiciones climáticas.

Hoy en día se encuentra una tendencia hacia el uso de materiales más amigables con el ambiente y que brinden propiedades aislantes a las temperaturas como ha sido el caso de Estados Unidos; en Texas y Nuevo México se encuentran las ciudades de Santa Fe y Marfa donde en los últimos años ha crecido de manera significativa la construcción con adobe. Conocidas por su distintiva construcción de lujo con adobe, que combina tradición con lujo moderno. Dichas ciudades ofrecen una variedad de residencias de alta gama que utilizan el adobe no solo por su estética, sino también por sus propiedades térmicas y sostenibles.



*Figura 9: Vivienda de lujo Santa Fe, Nuevo México. Construida en adobe
Fuente: Dreamstime*

La búsqueda de nuevos materiales de construcción que aporten nuevas soluciones, sumado a la voluntad de hacer una arquitectura cada día más sostenible ha hecho emerger un material que fue abandonado a lo largo del siglo XX. La sociedad y los técnicos han vuelto la mirada hacia la tierra que reivindica su lugar en una nueva cultura. Este resurgir como material más ecológico y su uso está en expansión entre los países desarrollados. (Bestraten et al., 2011)

El adobe en México

El adobe como material de construcción para uso habitacional ha sido utilizado por miles de años por los pueblos indígenas de América, tanto en el suroeste de los Estados Unidos como en Mesoamérica y la región andina en Sudamérica. (Sociedad et al., 2012) Su uso en México se remonta a las primeras civilizaciones mesoamericanas; los olmecas, zapotecas, mayas, y aztecas los cuales lo emplearon para construir viviendas y templos. Aunque algunas de estas civilizaciones fueron reconocidas por su construcción con piedra, las estructuras residenciales y algunos edificios ceremoniales fueron construidos con adobe. Por

ejemplo, las plataformas de las pirámides de San Lorenzo en Veracruz son de adobe.

En el imperio azteca, el adobe se utilizaba ampliamente en la construcción de viviendas. La capital azteca, Tenochtitlán, fundada en una región lacustre, presentaba numerosos edificios de adobe, especialmente en las áreas habitadas por la población común. La capacidad del adobe para mantener interiores frescos durante el calor del día y cálidos por la noche lo hacía ideal para el clima de la cuenca de México.

Otras evidencias que siguen siendo de gran importancia en nuestro país son Teotihuacán y Monte Albán, donde el adobe se utilizaba por su disponibilidad y sus propiedades térmicas ideales para climas extremos. (V. et al., 2012)

Con la llegada de los españoles en el siglo XVI, la construcción con adobe siguió siendo prevalente, aunque se integraron nuevas influencias y estilos arquitectónicos. Durante el periodo colonial, el adobe se combinó con otros materiales como la piedra y el ladrillo, adoptando técnicas europeas que enriquecieron la arquitectura mexicana. Las iglesias y misiones de esta época son ejemplos de la integración de técnicas y estilos, donde el adobe fue fundamental para la construcción de muros y cúpulas. (Sanchez-Calvillo et al., 2020)

El uso del adobe durante la colonia también estuvo marcado por la implementación de normativas que buscaban mejorar la seguridad y durabilidad de las construcciones. Las ordenanzas de construcción promovieron el uso de materiales locales y técnicas que garantizaran la resistencia estructural, consolidando la presencia del adobe en la arquitectura del periodo. (Sanchez-Calvillo et al., 2020)

Posterior a eso en el siglo XX, con la industrialización y la migración a materiales como el concreto y el acero provocaron un declive en el uso de los bloques de adobe. A pesar de eso podemos ver en los últimos años una creciente popularidad de los mismos debido a sus ventajas ambientales, derivadas de la preocupación y la busca de prácticas más sostenibles para el planeta.

Sustentabilidad

La sustentabilidad comenzó a ganar popularidad en 1972 durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano en Estocolmo, Suecia, donde se destacó la necesidad de equilibrar los enfoques ambiental, social y económico. En 1983, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) creó la Comisión Mundial de Ambiente y Desarrollo, marcando un paso crucial hacia la formalización del concepto de sustentabilidad. Este concepto se definió en 1987 en el Informe Brundtland como la "capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades."

Cinco años más tarde ocurrió la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro resultó en la Declaración de Río y la Agenda 21, un plan de acción para promover el desarrollo sostenible. La Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en 2002 en Johannesburgo reafirmó estos compromisos y avanzó nuevos objetivos.

En 2017, la ONU adoptó los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), un conjunto de 17 objetivos que abordan desafíos globales como la pobreza, la desigualdad y el cambio climático, proporcionando una hoja de ruta clara para alcanzar el desarrollo sostenible para 2030. Estos eventos reflejan la evolución del concepto de sustentabilidad y su creciente importancia en las políticas y prácticas globales.

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Figura 10: Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Fuente: Naciones Unidas

Los ODS proporcionan un marco global común que unifica los esfuerzos de los países, las organizaciones internacionales, el sector privado y la sociedad civil hacia un conjunto de metas compartidas. Este marco facilita la cooperación y coordinación internacional, esencial para abordar desafíos que trascienden fronteras nacionales, como el cambio climático y la pobreza extrema. (Naciones Unidas, 2015.)

Una de las fortalezas de los ODS es su enfoque en la medición y monitoreo del progreso. Cada objetivo está acompañado de indicadores específicos que permiten evaluar los avances e identificar áreas que requieren atención adicional. Este enfoque basado en datos facilita la rendición de cuentas y permite ajustar las políticas y estrategias en función de los resultados obtenidos (United Nations Statistics Division, 2020).

Desde su adopción, los ODS han influido significativamente en la formulación de políticas a nivel nacional e internacional. Muchos países han alineado sus estrategias de desarrollo y sus políticas nacionales con los ODS, adoptando medidas para alcanzar las metas establecidas. Además, los ODS han servido como base para la cooperación y la asistencia internacional, guiando la

asignación de recursos y la implementación de programas de desarrollo (OECD, 2021).

El Acuerdo de Escazú, oficialmente conocido como el "Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe", fue adoptado en marzo de 2018. Este tratado es significativo por ser el primer acuerdo ambiental regional en América Latina y el Caribe y el primero en el mundo que incluye disposiciones específicas para la protección de los defensores de los derechos humanos en asuntos ambientales. El acuerdo se centra en mejorar la participación pública, el acceso a la información y la justicia ambiental. (United Nations Treaty Collection, 2018)

Un año después entro en vigor el Pacto sobre el Medio Ambiente, el cual es una iniciativa que busca crear un tratado internacional vinculante que unifique y refuerce los principios del derecho ambiental global, hoy en día continua en negociación para encontrar acuerdos ambientales en un marco jurídico coherente.

Año con año se llevan a cabo; tratados, planes, conferencias, acuerdos de reforzamiento y actualizaciones donde los países reportan sus avances y se suman a las nuevas políticas. Sumando con esto mejores prácticas y puntos de referencia de cómo hacer las cosas.

Desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable es un concepto que ha ganado prominencia en las últimas décadas, reconociéndose como una necesidad imperante para asegurar el bienestar humano y la salud del planeta a largo plazo. Este término fue popularizado por el informe "Our Common Future" de 1987, también conocido como el Informe Brundtland, el cual define el desarrollo sustentable como "el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. (Kuhlman &

Farrington, 2010). Donde básicamente se destaca de manera constante en diversas definiciones el equilibrio entre el crecimiento económico, la equidad social y la protección ambiental.

El Informe Brundtland de 1987 marcó un punto de inflexión al proporcionar una definición clara de desarrollo sustentable y al enfatizar la necesidad de un enfoque integrado que combine el desarrollo económico con la justicia social y la gestión ambiental. Este informe sentó las bases para la adopción de políticas y estrategias a nivel global, culminando en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, donde se adoptó la Agenda 21, un plan de acción global para promover el desarrollo sostenible en el siglo XXI.

El desarrollo sustentable tiene tres pilares fundamentales:

Sostenibilidad Ambiental: Este pilar enfatiza la necesidad de conservar los recursos naturales y proteger los ecosistemas para asegurar que las futuras generaciones puedan disfrutar de un ambiente saludable. La sostenibilidad ambiental incluye prácticas como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la conservación de la biodiversidad y la gestión sostenible de los recursos naturales. (Purvis et al., 2019)

Equidad Social: La equidad social se centra en la distribución justa de los beneficios del desarrollo. Esto incluye garantizar que todos los individuos, independientemente de su origen socioeconómico, tengan acceso a oportunidades y recursos esenciales como educación, salud y empleo. La equidad social también implica la inclusión de las comunidades marginadas en los procesos de toma de decisiones. (United Nations, 2023)

Crecimiento Económico Sostenible: Este pilar se refiere a la promoción de un crecimiento económico que sea sostenible a largo plazo. Implica la creación de economías que puedan prosperar sin agotar los recursos naturales y sin causar daño al medio ambiente. Este enfoque promueve la innovación, la eficiencia energética y el uso de tecnologías limpias. (Purvis et al., 2019)

La implementación del desarrollo sustentable enfrenta varios desafíos. Entre ellos, uno de los más significativos es el equilibrio entre las necesidades inmediatas y los objetivos a largo plazo. Muchos países en desarrollo se enfrentan a la presión de explotar recursos naturales para impulsar su economía, lo que a menudo entra en conflicto con los principios de sostenibilidad. (Purvis et al., 2019)

Otro desafío importante es la necesidad de cooperación internacional. El cambio climático, la pérdida de biodiversidad y otros problemas ambientales no conocen fronteras y requieren una acción coordinada a nivel global. Los acuerdos internacionales como el Acuerdo de París son ejemplos de esfuerzos para abordar estos desafíos de manera colectiva (United Nations, 2023)

También se ha popularizado el “greenwashing” que es una estrategia de marketing utilizada por empresas, organizaciones o gobiernos para crear una imagen de responsabilidad ambiental sin realizar cambios significativos que respalden esa imagen. El término se refiere a la práctica de presentar productos, servicios o políticas como ambientalmente amigables de manera engañosa, para atraer a consumidores preocupados por el medio ambiente y aumentar las ventas o mejorar la reputación pública sin comprometerse realmente con la sostenibilidad.

La sustentabilidad en la construcción

El término construcción sustentable se vuelve cada vez más popular año tras año. Este concepto nace como la respuesta de cumplir las necesidades del ser humano de una manera más amigable con el ambiente, debido a la crisis ambiental a la que nos enfrentamos hoy en día.

Primero tenemos que definir lo que es “una construcción sustentable” y cuáles son los criterios que se utilizan para que sea considerada o no lo sea. Por lo que de acuerdo a varias definiciones: Una construcción sustentable se define por su capacidad para minimizar el impacto ambiental durante todo su ciclo de vida, desde la planificación y el diseño hasta la demolición. Esto incluye la utilización de

materiales más amigables con el ambiente, la eficiencia energética, el uso de energías renovables y la gestión eficiente de residuos. En contraste, una construcción no sustentable suele depender de materiales no renovables, genera altos niveles de emisiones de CO₂ y desperdicio, y consume grandes cantidades de energía y agua.

A continuación, se mencionan los criterios clave para tomar dichas consideraciones:

Diseño pasivo y eficiencia energética: Este criterio consiste en cuidar la orientación y el diseño de manera que su orientación nos garantice la máxima captación de luz solar en invierno y minimizarla en verano

Aislamiento y Ventanas de alto desempeño: Utilización de materiales aislantes y ventanas de doble o triple acristalamiento.

Materiales sostenibles: El uso de materiales de construcción sostenibles se refiere a elegir aquellos que tienen un menor impacto durante todas las etapas, es decir; extracción, producción, transporte, y disposición final.

Materiales Reciclados y Reciclables: Acero reciclado, madera certificada FSC (Forest Stewardship Council) y materiales compuestos con residuos.

Biomateriales: Uso de materiales naturales como el bambú, corcho y cáñamo ya que son recursos renovables y biodegradables.

Energía renovable: La integración de fuentes de energía renovable reduce de manera directa la huella de carbono de los edificios, algunas de las alternativas son el uso de la energía solar y eólica.

Gestión del agua: El gestionar el agua busca reducir el consumo mejorando la eficiencia en su uso, por ejemplo, captación de agua pluvial, reutilización de aguas grises y en general tecnologías de bajo flujo para reducir el consumo del agua.

Salud y Bienestar: Uno de los aspectos de que se menciona menos dentro de la construcción sustentable es el aspecto de salud y bienestar, que consiste en crear entornos saludables y confortables, cuidando los siguientes aspectos:

Iluminación natural: El diseño propuesto también maximiza la entrada de luz natural para reducir la necesidad de iluminación artificial.

Economía circular y Construcción Modular: La economía circular en la construcción busca reutilizar y reciclar materiales, minimizando de esta manera los desperdicios y la construcción modular es cuando se fabrican componentes de edificaciones en fábricas para después ser ensamblados in situ únicamente.

Podemos darnos cuenta de que los aspectos que se deben de tomar en cuenta y en los que se puede construir de manera sustentable para una edificación son muchos y cada uno es una ciencia. La sustentabilidad en la construcción es esencial para enfrentar los desafíos ambientales actuales, pero cuales son los verdaderos criterios que se utilizan para denominar a una edificación como sustentable o no.

Criterios de Sustentabilidad

Eficiencia Energética: Uso de tecnologías y prácticas que reduzcan el consumo energético.

Uso de materiales Reciclados y Renovables: Prioridad a materiales con bajo impacto ambiental.

Gestión de residuos: Reducción, reutilización y reciclaje de materiales de construcción.

Diseño bioclimático: Integración de principios de diseño que aprovechen las condiciones climáticas locales.

Otro punto importante que, aunque no es tangible es de los factores más importantes y contaminantes; la energía. La energía que utilizamos para producir y transportar cualquier tipo de material de construcción tiene un impacto significativo en términos de sostenibilidad para una edificación de cualquier tipo.

La producción de cemento es una de las principales fuentes de emisiones de CO₂, representando aproximadamente el 8% del total global. (Xiang et al., 2024) Y

sumando a eso el costo energético que transportación y maquinaria, podemos darnos cuenta que el costo ambiental es muy alto y no es viable ambientalmente hablando.

Algunas de las estrategias y tendencias que podemos observar de manera global son:

- Producción local de materiales, reduciendo de esta manera las distancias de acarreo y transporte.
- Uso de energías renovables en la producción.
- Optimización del diseño: Minimizar el uso de materiales de alta energía y realizando un diseño bioclimático favorable de acuerdo con el proyecto.

Podemos decir que también de acuerdo con el origen de la palabra sustentabilidad que las construcciones sustentables no solo tienen un impacto benéfico hacia el medio ambiente, sino que a la vez nos está ofreciendo beneficios económicos y sociales. Reduciendo los costos operativos en todas las etapas, mayor eficiencia energética y materiales buenos y duraderos lo cual nos beneficiará como usuarios en la vida útil y el mantenimiento de nuestras edificaciones. Mejorará nuestra calidad de vida proporcionándonos ambientes interiores saludables.

Las tendencias en la construcción sustentable

La construcción con ayuda de la ciencia se va adaptando a las necesidades, y hoy en día la necesidad es migrar hacia construcciones más amigables con el ambiente. El concepto está en constante evolución adaptándose a nuevas tecnologías y prácticas que promueven el respeto por el medio ambiente y la eficiencia de los recursos.

Edificaciones de Energía Zero

Por sus siglas en inglés ZEB (Zero Energy Building) Estos edificios están diseñados para producir tanta energía como la que consumen a lo largo del año, a menudo a través de fuentes de energía renovables como la solar o la eólica.

Un ejemplo es edificio de oficinas Powerhouse Brattørkaia en Noruega que genera más energía de la que consume. Utilizando una combinación de paneles solares en su techo y fachada, junto con sistemas de almacenamiento de energía y un diseño altamente eficiente hablando particularmente en diseño bioclimático por el aislamiento que tiene y el aprovechamiento de la luz natural.

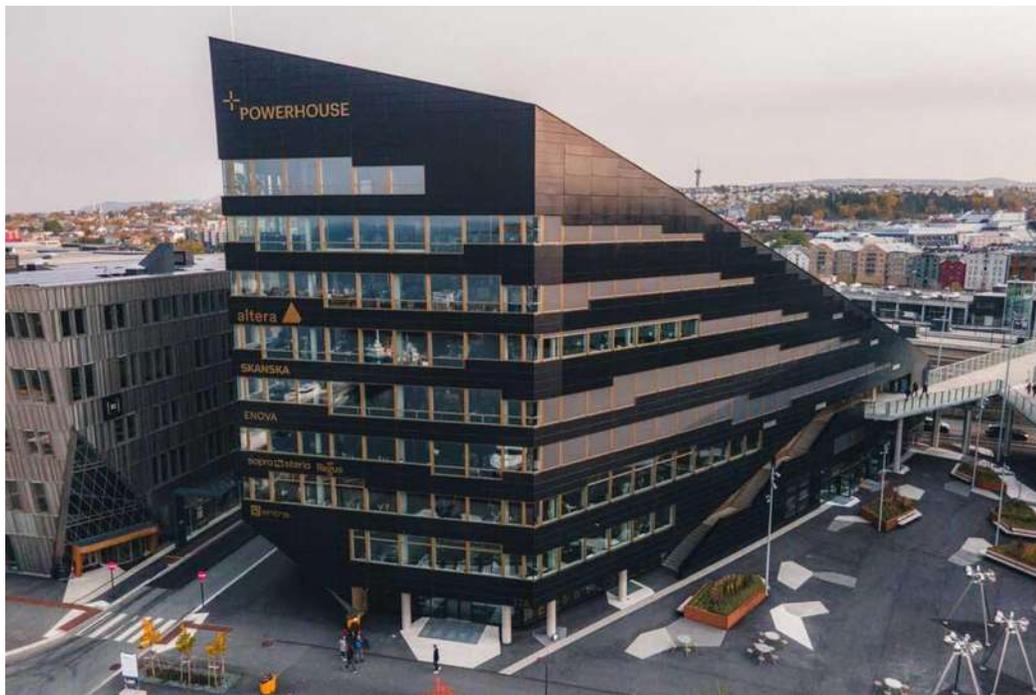


Figura 11: Zero Energy Building Powerhouse Brattørkaia.

Fuente: Revista Arquine

Certificaciones Verdes

Actualmente existen varias certificaciones verdes siendo LEED y BREEAM las de mayor importancia. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method).

LEED

Es un sistema de certificación desarrollado por el U.S. Green Building Council (USGBC). Evalúa los edificios en diversas categorías, incluyendo el uso eficiente de la energía, la gestión del agua, el uso de materiales sostenibles y la calidad ambiental interior. Los edificios pueden obtener diferentes niveles de certificación, plata, oro y platino según su desempeño.

Algunos ejemplos de edificaciones con certificaciones LEED en México son: Torre BBVA Bancomer, Ciudad de México. Ubicada en Paseo de la Reforma es una de las edificaciones más emblemáticas ya que cuenta con 50 pisos y cuenta con una certificación nivel oro gracias a eficiencia energética uso de agua, calidad ambiental interior y diseño sostenible.



Figura 12: Placa de certificación LEED edificio BBVA

Fuente: BBVA

Torre Reforma, Ciudad de México

Considerado un icono de la arquitectura sustentable en México, ubicado también en Paseo de la Reforma cuenta con la certificación LEED más alta, la Platino. Destacándose por su diseño bioclimático y el uso de tecnologías de gestión de agua y luz. Incorpora materiales reciclados y un sistema de captación de agua pluvial.



*Figura 13: Torre Reforma, Certificación LEED Platino
Fuente: Alfonso Merchand*

Torre Mayor, Ciudad de México

Es uno de los edificios más altos de América Latina, cuenta con 55 pisos y una certificación LEED nivel oro.

Algunos otros son:

- Torre HSBC, Ciudad de México
- Torre Virreyes, Ciudad de México
- Hospital Puerta de Hierro, Guadalajara

BREEAM

A diferencia de LEED, BREEAM se desarrolló en Reino Unido y es una metodología más antigua. Evalúan los mismos aspectos y aquí la ponderación puede ir desde aprobado a excepcional.

La importancia de estas certificaciones recae un poco en “lo que no se puede medir no se puede mejorar” por lo que es importante saber el impacto de nuestras edificaciones y el nivel en el que estamos contribuyendo siendo referencia o no para nuevos proyectos.

Las certificaciones verdes no solo ayudan a reducir el impacto ambiental de los edificios, sino que también ofrecen beneficios económicos y sociales. Los edificios certificados suelen tener costos operativos más bajos debido a su eficiencia energética y uso de recursos. Además, los ocupantes de edificios certificados por sistemas como LEED y BREEAM suelen reportar una mejor calidad de vida y salud debido a la mejora en la calidad del aire y la luz natural. (Matisoff et al., 2016)

Tecnologías de construcción modular:

Las tecnologías de construcción modular implican la fabricación de componentes de edificios, o módulos, en fábricas controladas, que luego se transportan al sitio de construcción para su ensamblaje. Este enfoque permite una mayor precisión y calidad en la producción, minimizando los residuos y optimizando el uso de materiales. Además, la construcción modular reduce significativamente el tiempo de construcción, ya que los módulos pueden fabricarse simultáneamente con la preparación del sitio, lo que también disminuye el impacto ambiental asociado con el ruido y las emisiones de equipos de construcción en el sitio. La construcción modular ofrece la posibilidad de reducir significativamente los residuos y aumentar la eficiencia en el uso de materiales. (Bareiss, 2022)



Figura 14: Construcción modular

Fuente: ArchDaily

Tecnología BIM (Building Information Modeling)

La metodología BIM (Building Information Modeling) es básicamente una manera moderna de planificar y gestionar proyectos de construcción usando modelos digitales colaborativo donde cada componente del edificio se representa con precisión y se vincula con datos relevantes, como materiales, costos, y eficiencia energética.

Eficiencia en el diseño y construcción

BIM permite realizar análisis detallados y simulaciones antes de la construcción, lo que ayuda a optimizar el diseño para mejorar la eficiencia energética y reducir el uso de materiales. Por ejemplo, se puede simular el comportamiento energético del edificio para maximizar la eficiencia de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). BIM permite realizar análisis detallados y simulaciones que optimizan el diseño y reducen el impacto ambiental". (Azhar et al., 2008)

Reducción de residuos

La capacidad de planificar y prever cada etapa del proceso constructivo asegura un uso más eficiente de los recursos y reduce la generación de residuos.

Gestión de recursos

BIM permite una gestión eficiente de los recursos desde la selección de materiales sostenibles, el mantenimiento y facilita las decisiones informadas que contribuyen a la sostenibilidad

Análisis de Ciclo de Vida

BIM facilita el análisis del ciclo de vida del edificio, permitiendo evaluar el impacto ambiental desde la construcción hasta la operación y el final de su vida útil. Esto incluye la capacidad de planificar la reutilización y reciclaje de materiales al final de la vida útil del edificio, lo que contribuye a una economía circular.

Optimización del espacio

La capacidad de modelar y analizar el uso del espacio ayuda a diseñar edificios que maximicen la eficiencia del espacio, lo que puede llevar a una reducción en el tamaño y, por lo tanto, en el uso de recursos.

Teoría de análisis de ciclo de vida

La teoría de análisis de ciclo de vida (ACV) es una metodología que se utiliza para evaluar el impacto ambiental total de un producto o material desde su extracción hasta su disposición final. Este enfoque integral considera todas las etapas de vida de un material, incluyendo la extracción de materias primas, la producción, el transporte, el uso y la disposición final, para de esta manera identificar oportunidades y áreas de mejora para eficientizar el proceso y buscar un equilibrio, reduciendo el impacto ambiental y promoviendo la sustentabilidad. “

El ACV proporciona un marco para evaluar los impactos ambientales de los productos de una manera más integral, considerando todas las etapas de su ciclo de vida" Cuenta con distintas etapas que serán descritas a continuación:

Extracción de materia prima:

Esta primera etapa es donde ocurre la obtención de los recursos naturales necesarios para producir el material. La extracción es una etapa que impacta de manera significativa al ambiente ya que usualmente lo degrada y contamina de alguna manera los cuerpos de agua.

Producción y manufactura:

En esta fase, las materias primas se transforman en productos terminados. Aquí se consideran los insumos energéticos y la generación de residuos y emisiones durante el proceso de fabricación.

Transporte:

Se trata acerca del transporte de materiales desde los sitios de producción hasta los lugares de uso final. El transporte contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes.

Uso:

Esta cuarta fase evalúa el impacto ambiental durante la vida útil del producto. Esto puede incluir el consumo de energía, agua y otros recursos, así como las emisiones asociadas.

Fin de Vida:

Cuando la vida útil del producto/material finaliza y se dispone en su destino final, ya sea a través del reciclaje, la reutilización, la incineración o el vertido.

En realidad, esta metodología (ACV) nació desde la década de 1960 cuando se comenzó a prestar atención a la cantidad de recursos y energía utilizados en la producción y consumo de productos. Se desarrolló por ingenieros y científicos.

El concepto y las técnicas del ACV fueron estandarizados en las décadas siguientes, culminando en la publicación de las normas ISO 14040 e ISO 14044 en 1997 y 2006. Estas normas proporcionan una metodología completa para llevar a cabo el análisis y facilitar su uso hoy en día de manera global. Hoy en día, el Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta esencial en la gestión ambiental y la sostenibilidad.

Como podemos darnos cuenta esta metodología se puede aplicar a cualquier material o producto para cualquier uso y hoy en día es una determinante para cambios en los procesos de cualquier índole.

Teoría de análisis de ciclo de vida en adobes.

El adobe es un material de construcción tradicional compuesto principalmente de tierra, arcilla y fibras orgánicas, como paja o estiércol. Es ampliamente utilizado en climas áridos y semiáridos debido a su excelente capacidad térmica y baja huella ecológica. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del adobe permite evaluar su impacto ambiental en todas las etapas, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final.

Etapas del Ciclo de vida del adobe:

Extracción y preparación de materia prima

El material principal de los bloques de adobe como bien se ha mencionado anteriormente es la arcilla, la extracción de la misma suele ser local ya que es un material muy abundante y usualmente no existe la necesidad de trasladarse grandes distancias. Su extracción suele ser por medios manuales.

Producción de bloques

La producción de bloques de adobe requiere adicionarle algunos otros materiales (según sea el caso), para nuestro caso en particular; paja, estiércol y

agua. Es considerado un material de bajo costo energético muy por debajo de algún bloque o tabique de concreto. (Klöpffer, 2006)

Transporte

Dado que el adobe suele producirse localmente, las distancias de transporte son cortas, lo que reduce las emisiones de CO₂ asociadas. La densidad del material y su fragilidad también hacen que el transporte sea más eficiente en términos de emisiones.

Uso y mantenimiento

Los edificios de adobe tienen una excelente capacidad de aislamiento térmico, lo que reduce la necesidad de calefacción y refrigeración por lo mismo el consumo de energía durante su uso. Además, el adobe es un material respirable que regula la humedad interior, contribuyendo a la calidad del aire interior. Los muros de adobe pueden reducir la demanda energética de edificios en climas cálidos al proporcionar un alto aislamiento térmico. (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012a)

Fin de vida útil

Al final de su vida útil, los ladrillos de adobe pueden ser completamente reciclados o reutilizados como material de relleno o para la creación de nuevos ladrillos. Su descomposición no produce contaminantes tóxicos, y sus componentes naturales se reintegran al medio ambiente sin problema. El adobe es completamente reciclable y su descomposición no emite sustancias tóxicas, lo que lo convierte en un material ambientalmente amigable. (Jiménez Delgado & Guerrero, 2007)

Esta metodología se utiliza hoy en día como una herramienta para comprender todas las etapas que conlleva la producción y de esta manera ver áreas de oportunidad para mitigar impactos ambientales a lo largo de sus etapas, ya que nos proporcionan una evaluación integral. Un análisis a un bloque de adobe nos arrojará información muy valiosa y comprándola con otros materiales de construcción populares hoy en día podremos darnos cuenta que su huella ecológica es mucho

menor. Debido a su bajo consumo de energía durante la extracción, producción y transportación.

Empresas, gobiernos y organizaciones utilizan el ACV para tomar decisiones informadas sobre el diseño de productos, procesos de producción y políticas públicas. Por ejemplo, el ACV puede ayudar a identificar oportunidades para reducir el consumo de energía y recursos, minimizar los residuos y mejorar la reciclabilidad de los productos.

Construcción con adobe para un estilo de vida sustentable-

La construcción con tierra o bloques de adobe es una de las técnicas constructivas más antiguas. Puede proporcionar un nivel de confort térmico idéntico o superior al habitual en la arquitectura convencional, pero sin utilizar aparatos eléctricos y valiéndose de la regulación y utilización de las propias características del material. (Fabio Gatti, 2022)

Sin embargo, hoy en día existen numerosos obstáculos sociales, políticos y que dificultan la adopción de esta técnica. Algunos otros materiales más estandarizados y estudiados siguen predominando en el mercado. La situación económica actual y una mayor conciencia sobre la sostenibilidad y la responsabilidad puede y ha podido contribuir a fomentar su uso en el contexto contemporáneo.

Propiedades de la construcción con bloques de adobe:

Inherencia térmica:

La inherencia térmica se refiere a la capacidad de un material para absorber y almacenar calor, liberándolo lentamente con el tiempo. Los bloques de adobe tienen una alta masa térmica, lo que les permite mantener una temperatura interior estable, amortiguando las fluctuaciones extremas de temperatura exterior. Esto es

particularmente útil en climas con variaciones de temperatura diurna y nocturna. La masa térmica de los muros de adobe puede reducir la demanda energética de edificios en climas cálidos al proporcionar un alto aislamiento térmico y estabilizar la temperatura interior. (Pacheco-Torgal & Jalali, 2012b)

Higroscopicidad:

La higroscopicidad es la capacidad de un material para absorber y liberar humedad del aire. Los bloques de adobe, al ser permeables al vapor, pueden regular la humedad interior, lo que contribuye a un ambiente más saludable al reducir la posibilidad de condensación y moho. El adobe es capaz de regular la humedad interior, lo que contribuye a mejorar la calidad del aire y a crear un ambiente interior más saludable. (Jiménez Delgado & Guerrero, 2007)

Aislamiento acústico:

El adobe también ofrece excelentes propiedades de aislamiento acústico, lo que ayuda a reducir el ruido exterior y a crear un entorno interior tranquilo. La densidad y la masa de los muros de adobe absorben las ondas sonoras, lo que reduce significativamente la transmisión de ruido. Los edificios construidos con adobe proporcionan un buen aislamiento acústico, lo que contribuye a la comodidad y el bienestar de los ocupantes. (Morel et al., 2001)

Ahorro energético:

Gracias a su alta masa térmica y propiedades de aislamiento, el adobe contribuye al ahorro energético al reducir la necesidad de calefacción y refrigeración artificiales. Esto se traduce en una menor demanda de energía y, por ende, en una reducción de los costos operativos y de las emisiones de carbono asociadas al uso de sistemas de climatización. El uso de bloques de adobe en la construcción puede llevar a una reducción significativa del consumo de energía, especialmente en climas cálidos. (Diker & Yazıcıoğlu, 2020)

Recurso infinito y sostenibilidad:

El adobe es un recurso prácticamente infinito, ya que sus componentes principales, como la tierra y la arcilla, son abundantes y renovables. La producción de adobe requiere menos energía y genera menos emisiones de CO₂ comparado con materiales. Además, los edificios de adobe pueden ser fácilmente desmantelados al final de su vida útil, y los materiales pueden ser reutilizados o reciclados sin generar residuos peligrosos. La sostenibilidad ambiental del adobe es una de sus mayores ventajas, haciendo de este material una opción ideal para la construcción ecológica.

Experimentación.

Distribución granulométrica

Objetivo:

Los adobes están compuestos en su mayoría por suelo, debido a eso es primordial conocer su distribución granulométrica y posteriormente clasificar nuestro suelo. El objetivo de esta prueba es separar las partículas de suelo por tamaños haciéndolas pasar por mallas e ir pesando las proporciones retenidas en cada una de ellas hasta el suelo más fino.

Normativa:

La metodología utilizada es el “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” por sus siglas en español SUCS. De igual manera la prueba se realizó según lo establecido en la norma NMX-C-496-ONNCCE-2014 (NMX, n.d.)

Fracción	Malla		Variación permisible de la abertura promedio con respecto a la denominación de la malla	Abertura máxima permisible para no más del 5% de las aberturas de la malla	Abertura máxima individual permisible	Diámetro nominal del alambre[1]
	Designación	Abertura nominal				
Gravas	3"	75.0	±2.2	78.1	78.7	5.80
	2"	50.0	±1.5	52.1	52.6	5.05
	1 ½"	37.5	±1.1	39.1	39.5	4.59
	1"	25.0	±0.8	26.1	26.4	3.80
	¾"	19.0	±0.6	19.9	20.1	3.30
	½"	12.5	±0.39	13.10	13.31	2.67
	3/8"	9.5	±0.30	9.97	10.16	2.27
	¼"	6.3	±0.20	6.64	6.78	1.82
	N° 4	4.75	±0.15	5.02	5.14	1.54
Arena con finos	N° 10	2.0	±0.070	2.135	2.215	0.90
	N° 20	0.850	±0.035	0.925	0.970	0.51
	N°40	0.425	±0.019	0.471	0.502	0.29
	N° 60	0.250	±0.012	0.283	0.306	0.18
	N°100	0.150	±0.008	0.174	0.192	0.11
	N° 200	0.075	±0.005	0.091	0.103	0.053

Figura 15: Juego de mallas

Fuente: Manual de mecánica de suelos I FIC UMSNH

Material y equipo:

- Juego de mallas No. 4, 10, 20, 40, 60, 100 y 200
- Agitador de mallas
- Vaso metálico
- Cepillo de cerdas
- Balanza con aproximación 0.1 g.
- Horno

Procedimiento:

- Secar por completo el material al sol para posteriormente apisonarlo de manera manual, deshaciendo cualquier terrón de suelo que pudiera contener.



Figura 16: Tendido de material

Fuente: P. Recordón Ramírez

Por medio del cuarteo se toma una muestra representativa del material, llenando por completo el recipiente que se muestra en la Figura 17, y enrasándolo.



Figura 17: Llenado y enrasado de molde

Fuente: P. Recordón Ramírez

Se procede a cribar por las mallas (Figura 18) y a pesar cada uno del peso retenido en cada una de las mallas, separando de esta manera las gravas y las arenas, hasta obtener la cantidad de cada tamaño de partícula como se muestra (Figura 18)



Figura 18: Material retenido de granulometría fina

Fuente: P. Recordon Ramírez.

Posterior a eso la fracción que pasa la malla No.4 se cuartea para obtener una mezcla de 200 gramos, la cual se coloca en un recipiente metálico (Figura 19) y se deja saturar durante 12 horas.

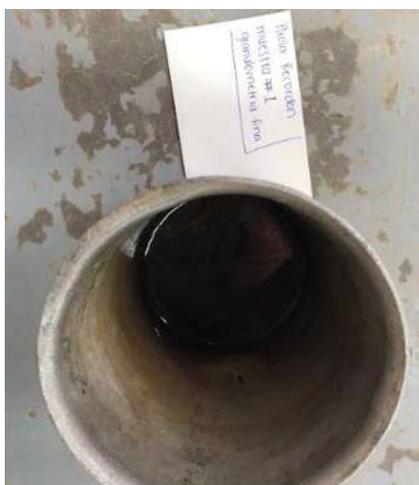


Figura 19: Saturación de material fino para lavado

Fuente: P. Recordon Ramírez

Después de transcurrido el lapso se homogeniza la mezcla dando vueltas en forma de 8 con una varilla para ser vertida inmediatamente haciéndola pasar por la malla No.200. Lavándola hasta que el agua salga completamente cristalina. (Figura #20)



Figura 20 Lavado de la muestra

Fuente: P. Recordón Ramírez

A continuación, se recolecta el material retenido en la malla y se recolecta en el vaso para secarlo en el horno y obtener las masas retenidos por la malla y la masa que se perdió por el “lavado” del material. De esta manera se obtienen las masas por diferencia. Finalmente se obtiene la cantidad de cada tamaño de partícula de la muestra.

Límites de Atterberg

Los límites de Atteberg es el análisis que se le realiza a los suelos para determinar sus propiedades de plasticidad, ayudándonos a clasificar el suelo y comprender su comportamiento bajo diferentes condiciones de humedad.

El objetivo principal es determinar los límites de consistencia de un suelo, que incluyen el límite líquido (LL), el límite plástico (LP) y el índice de plasticidad (IP). Estos límites ayudan a caracterizar las propiedades de flujo y formación de los suelos.

Los estados de la materia clásicos son: solido, líquido y gaseoso, existiendo un cuarto estado llamado el plástico. En el caso de los suelos, este estado se logra

mediante un proceso de "remoldeo" con espátulas y ajustando el contenido de agua hasta obtener la consistencia plástica deseada. Se menciona también la posibilidad de estados intermedios como el semisólido o semilíquido, dependiendo del contenido de agua del suelo remodelado.

Estado líquido: El que presentan los suelos cuando manifiestan las propiedades de suspensión.

Estado semilíquido: Cuando los suelos tienen el comportamiento de un fluido viscoso.

Estado plástico: El cual los suelos presentan las propiedades plásticas mencionadas

Estado semisólido: En el que la apariencia de los suelos es un sólido; sin embargo, a la hora de secarse, disminuye su volumen.

Estado sólido: En el que el volumen de los sólidos no varía cuando se le someta a secado.

Las fronteras entre los estados de consistencia fueron establecidas por el científico sueco Albert Atteberg en el año de 1910 con el nombre de límites de consistencia descritos a continuación.

Límite Líquido (LL): Frontera superior entre el estado plástico y semilíquido

Límite Plástico (LP): Frontera inferior entre el estado plástico y semisólido

Límite de contracción (LC): Frontera entre los estados semisólido y sólido

El índice plástico (IP) es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo

La contracción lineal de un suelo se refiere a la disminución de su volumen, expresada como un porcentaje de su dimensión original, cuando la humedad disminuye desde el límite líquido hasta el límite de contracción.

El valor del índice plástico, límite líquido y la contracción lineal, nos permiten evaluar las propiedades de plásticas del suelo.

Límite líquido

1- Objetivo

Determinar la cantidad de humedad en la cual el suelo pasa de un estado semilíquido a un estado plástico, lo que se conoce como el límite líquido.

2- Normativa

La prueba se realizó según lo establecido en la norma NMX-C-493-ONNCCE-2018, la cual establece los requisitos y métodos de prueba para la determinación del límite líquido de los suelos. Esta norma fue publicada en 2018 por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE)

3- Material y equipo

- Cápsula de porcelana
- Balanza de aproximación 0.01
- Copa de Casagrande
- Horno
- Espátula
- Cuentagotas
- Espátula flexible de 7.5cm de longitud y 2cm de ancho con punta redonda
- Malla ASTM No.40
- Placa de vidrio
- Ranurador plano y curvo
- Recipientes para las muestras
- Secador eléctrico

4- Procedimiento

Para comenzar, se debe preparar la muestra. Esto implica triturar el material utilizando un mortero, teniendo cuidado de evitar desintegrar las partículas más grandes. Luego, se debe tamizar a través de la malla No. 40 hasta obtener una cantidad de 400 o 500 gramos y colocarla en una cápsula de porcelana. Después, se agrega agua destilada hasta que la muestra esté completamente cubierta y se deja reposar durante al menos 16 horas.

Se procede a homogeneizar la muestra y luego se coloca cuidadosamente en la copa de Casagrande utilizando una espátula. Se debe asegurar que haya una capa uniforme con un espesor de 10 mm en el punto más profundo de la copa.



Figura 21: Homogeneizado de la muestra.

Fuente: P. Recordón Ramírez

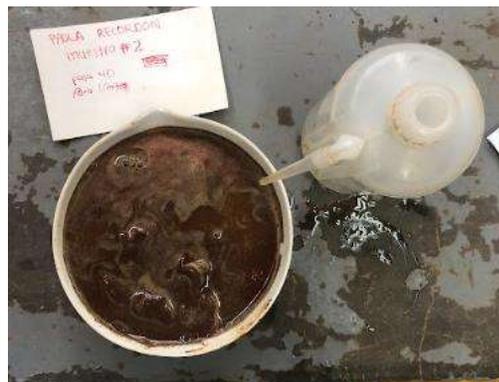


Figura 22: Material colocado en copa de Casagrande.

Fuente: P. Recordón Ramírez.

Se coloca la muestra en la copa de Casagrande con ayuda de una espátula. Dejando una de 10mm de espesor en el punto más profundo de la copa y se ranura por el centro con ayuda del ranurador como en la siguiente imagen.



Figura 23: Muestra en copa de Casagrande con ranura.

Fuente: P. Recordon Ramírez

Se procede a operar la copa de Casagrande hasta que ambas mitades de la porción del suelo converjan en contacto en la parte inferior de la ranura, a lo largo de una distancia de 13 mm. Se requiere registrar el número de golpes necesario para alcanzar esta condición.

Tomar una muestra representativa de aproximadamente 10 gramos de material de la copa de Casagrande. Se registrarán las lecturas de masa tanto del recipiente como de la masa húmeda de la muestra.

Las acciones anteriores, se repetirán hasta obtener un total de cuatro determinaciones de golpes, dentro del rango de 10 a 35 golpes. En caso necesario, se podrá recurrir al uso de un cuentagotas y un secador eléctrico para ajustar el contenido de agua del material.

Una vez obtenidas las muestras se procederá a secarlas en el horno a una temperatura de 50°C durante un periodo de 24 horas. Posteriormente se registran las lecturas de masa en su estado seco. (Figura #24)



Figura 24: Muestra LL en estado seco del suelo

Fuente: P. Recordon Ramírez.

Límite plástico

1- Objetivo

Determinar la cantidad de agua necesaria para que una muestra de suelo adquiera ciertas propiedades plásticas específicas. También podemos definirlo como el mínimo contenido de agua de la fracción que pasa la malla No. 40 para que se puedan formar con ella cilindros de 3mm (rollitos) sin que se rompan o desmoronen.

Estableciendo de esta manera la humedad a la cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido proporcionándonos los datos para caracterizar el suelo.

2- Procedimiento

Se toma una porción de aproximadamente 20 g del remanente de la muestra utilizada para el LL (Límite líquido), reduciendo la humedad de esta hasta que tenga la consistencia adecuada, es decir que no se pegue en las manos a la hora de manipularla

Tomamos una pequeña porción de esta y con ayuda de una placa de cristal o nuestras manos rotamos hasta ir formando cilindros 3mm de diámetro. Es

importante revisar que el cilindro no se flexione por sí solo ya que esto nos indica un exceso de humedad en nuestra muestra.

Colocamos los cilindros en un recipiente, registrando la masa del mismo y la masa total antes del secado al horno.

Colocamos en el horno junto con nuestras otras muestras bajo las mismas condiciones (Figura #25) y registramos la masa después del secado.



Figura 25: Muestras de límites de consistencia secas

Fuente: P. Recordon Ramírez

Índice plástico

El índice de plasticidad en suelos es una medida clave para entender cómo cambia la consistencia de un suelo en relación con su contenido de humedad. Este índice nos indica el rango de humedad en el cual el suelo exhibe características plásticas.

De manera más gráfica los extremos los límites líquido y plástico son los extremos que delimitan este rango; el límite líquido es el punto en el que el suelo comienza a fluir como líquido bajo presión, mientras que el límite plástico marca el punto en el que el suelo comienza a perder su plasticidad y se vuelve más quebradizo.

Dicho lo anterior podemos entender que la manera de calcular el índice plástico es como la diferencia de estos dos límites. Es decir, es la medida de cuánto puede cambiar el contenido de humedad de un suelo antes que cambie su consistencia.

Esta diferencia se calcula con la siguiente formula, que nos arroja un valor numérico que nos representa la plasticidad del suelo.

$$IP = LL-LP$$

Dónde:

IP= Índice plástico (porcentaje)

LL= Límite líquido (porcentaje)

LP= Límite plástico (porcentaje)

Contracción lineal y volumétrica

Uno de los retos más grandes a la hora de construir con suelo, son los cambios volumétricos que presenta el mismo. Ya que al estar compuestos mayormente por suelos arcillosos los cuales se expanden o contraen en presencia de agua.

Por lo que el objetivo principal de esta prueba es determinar la cantidad de contracción que presenta un suelo cuando pasa de su estado húmedo a seco; permitiéndonos evaluar la susceptibilidad de nuestro suelo a la contracción y poder estimar cambios en el volumen de nuestro material.

Esta prueba se realiza utilizando el material remanente obtenido de la prueba realizada para determinar el límite líquido a 25 golpes.

Contracción lineal (CL)

Procedimiento:

- 1- Engrasar el molde para proceder a depositar el material en él, con ayuda de una espátula. El llenado se lleva a cabo en tres etapas, aplicando golpes al molde sobre una superficie sólida después de cada capa para eliminar el aire atrapado, repitiendo este proceso hasta que no se detecten burbujas en la superficie.
- 2- Una vez que el molde esté completamente lleno, nivelar la superficie del material.
- 3- Permitir que el material se asiente hasta que experimente un cambio de color y luego proceder a secarlo en un horno durante un periodo de 18 horas, a una temperatura constante de 50°C.
- 4- Retirar el molde y medir la longitud interna del mismo, así como la longitud de la barra de material seco para su posterior análisis. (Figura #26)



Figura 26: Muestra seca CL
Fuente: P. Recordón Ramírez

Contracción volumétrica (CV)

- 1- Repetir los primeros 3 pasos descritos en la prueba anterior (CL) hasta obtener nuestra muestra seca.
- 2- Desmoldamos la muestra y determinamos el volumen del recipiente y posteriormente la pastilla ya seca. Para determinar eso se llena un recipiente con mercurio y se enrasa, para colocar después la pastilla y obtener el volumen desplazado de mercurio. Calculando así por diferencia el volumen de la misma.



Figura 27: Muestras CL y CV secas

Fuente: P. Recordón Ramírez.



Figura 28: Desplazamiento de mercurio CV

Fuente: P. Recordón Ramírez

Experimentación II (ND)

Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)

Objetivo

La velocidad de pulso ultrasónico (VPU) es una prueba no destructiva aplicada comúnmente en concreto, acero y madera, y puede utilizarse para conocer las propiedades físicas del material, verificar su uniformidad y calidad relativa del mismo, así como, indicar la presencia de vacíos y grietas. (Raavi & Tripura, 2021)

Su objetivo es determinar la velocidad a la que se propaga una onda ultrasónica a través de un material sólido, líquido o gas. Los resultados nos permiten evaluar la integridad y calidad del material, arrojándonos datos de defectos o discontinuidades de nuestro material, en este caso bloques de adobe.

La velocidad de propagación de la onda está en función al material que atraviesa y es por ello por lo que este parámetro se puede relacionar con propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad, densidad y coeficiente de Poisson. (Aguilar et al., n.d.)

Normativa

NMX-C-155-ONNCCE-2019; Esta norma establece los métodos de prueba para la determinación de las propiedades físicas de los materiales de construcción, incluidos métodos de prueba para la medición de la velocidad del pulso ultrasónico en materiales.

En este caso se utilizaron cubos de 8cm de cada uno de sus lados y el equipo V METER MK IV, Ultrasonic System for Indentify Basic Characteristics.

Procedimiento:

- 1- Preparación del equipo, verificando que el equipo esté calibrado.



Figura 29: Calibración y preparación del equipo de VPU

Fuente: P. Recordon Ramírez

- 2- Preparación de la muestra, limpiando las caras de nuestros especímenes para posteriormente colocar un agente apropiado de acoplamiento, en este caso gel, en la superficie del contacto para evitar el aire entre ellos.
- 3- Realizar la prueba, asegurándonos que las sondas estén alineadas en ambas caras de nuestro espécimen, para posteriormente enviar el pulso ultrasónico a través de la muestra y registrar el tiempo que tarda en viajar desde una cara a otra.



Figura 30: Toma de lectura de VPU

Fuente: P. Recordon Ramírez

- 4- Repetir el proceso en cada uno de los especímenes. En este caso se utilizaron 5 especímenes de cada uno de nuestros materiales.

Resistividad Eléctrica (RE)

La resistividad eléctrica se considera una propiedad eléctrica de los materiales que indica su resistencia u oposición al paso de las cargas eléctricas. (Antonio et al., 2019). En el caso del concreto, o de los sólidos en general, cuanto mayor es la resistividad eléctrica, menor es la porosidad del concreto; por lo tanto, mayor será su impermeabilidad y resistencia mecánica. (Antonio et al., 2019). Para los suelos no existe un valor universal ni estándar aceptado de RE.

El objetivo de esta prueba es evaluar su capacidad para resistir el paso de corriente eléctrica. Esta prueba es importante en el caso del adobe y otros materiales de construcción similares porque la resistividad eléctrica puede influir en su comportamiento estructural y en su durabilidad, especialmente en entornos donde la humedad y otros factores ambientales pueden afectar la integridad del material.

Normativa

Este procedimiento se realizó de acuerdo con la norma NMX-C-514-ONNCCE-2016, también conocida como "Método de prueba para determinar la resistividad eléctrica en suelos y otros materiales geotécnicos", establece los procedimientos para medir la resistividad eléctrica en suelos y otros materiales geotécnicos. Se llevó a cabo con 5 cubos de cada una de nuestras muestras de 8cm de cada uno de sus lados. Se utilizó el equipo Mc Miller.

Procedimiento

- 1- Preparación del equipo y material, verificando que esté calibrado.
- 2- Preparar nuestros especímenes para asegurándonos de remover cualquier suciedad para colocar los electrodos con un paño húmedo entre ellos y bien colocados para garantizar una lectura precisa.



Figura 31: Preparación del espécimen para RE

Fuente: P. Recordón Ramírez

- 3- Aplicar corriente eléctrica entre los electrodos midiendo la caída de voltaje y repitiéndolo en cada uno de nuestros especímenes registrando y posteriormente calculando cada uno de ellos.



Figura 32: Resistómetro Mc Miller

Fuente: P. Recordon Ramírez

Fagerlünd o Absorción Capilar

Como se mencionó anteriormente uno de los retos más grandes para la construcción con adobe es el comportamiento que tiene con la humedad. Por eso es de suma importancia medir cómo se comporta el material ante presencia de agua a lo largo del tiempo. Analizando la capacidad absorber y retener la humedad ya que nuestro material es poroso.

La humedad es un problema importante y peligroso en las zonas sísmicas para las construcciones en tierra; la cual conlleva algunos otros daños como revoque sin adherencia al sustrato, desmenuzamientos o desprendimientos, eflorescencias y desprendimiento de pintura. (Cirvini & Gómez Voltan, 2014). Esta humedad, es generalmente provocada por la absorción capilar que se genera desde la subestructura.

Normativa

Esta prueba se realizó en base a la norma NMX-C-504-ONNCCE-2015 “Determinación de la absorción capilar en concreto – Método de ensayo”. Se llevó a cabo la prueba con 5 especímenes (cubos de 8cm cada lado) de cada uno de los bancos.

Material

- Vernier
- Parafina y brea
- Brocha
- Bolsas de plástico
- Bandas elásticas
- Recipiente plástico con tapa
- Esponja de 5cm de espesor
- Báscula con aproximación de 0.01g
- Franela
- Cronómetro

Procedimiento

- 1- Preparación de las muestras, en este caso 5 muestras de cada uno de los bancos con dimensiones de 8cm x 8 cm x 8cm. Calentamos la parafina y brea para con ayuda de una brocha recubriendo sus caras a excepción de la superior e inferior como se muestra (Figura #33)



Figura 33: Cubriendo caras del espécimen con parafina y brea.

Fuente: M. Ruiz Mendoza



Figura 34: Especímenes acondicionados

Fuente: P. Recordon Ramírez

- 2- Procedemos a medir y determinar la masa de cada una de las muestras secas.



Figura 35: Medición de cada uno de los lados de nuestros especímenes

Fuente: P. Recordón Ramírez

- 3- Colocar una esponja de 5cm de espesor a lo largo de nuestro recipiente plástico, colocando agua a una altura de 3 ± 1 mm superior a la superficie de la esponja. Asegurándonos de mantener dicho nivel de manera constante a lo largo de toda nuestra prueba.

- 4- Procedemos a colocar las muestras en el recipiente cubriendo la cara superior con plástico para evitar la pérdida de humedad (Figura #36) y procedemos a ir determinando masas en los tiempos establecidos de acuerdo a la Tabla #1.



Figura 36: Especímenes colocados para prueba de absorción

Fuente: P. Recordon Ramírez.

Tabla 1 : Tiempos de lectura para prueba de absorción capilar

30 s	2 s
60 s	2 s
2 min	10 s
5 min	10 s
10 min	2 min
15 min	2 min
20 min	2 min
30 min	2 min
1 hra	2 min
2 hrs	5 min
3 hrs	5 min
4 hrs	5 min
5 hrs	5 min
6 hrs	5 min
24 hrs	2 hrs
48 hrs	3 hrs
72 hrs	4 hrs
96 hrs	5 hrs
120 hrs	2 hrs
144 hrs	3 hrs
168 hrs	4 hrs
192 hrs	5 hrs

Tabla 2: Tiempos de lectura para prueba de absorción capilar

Fuente :P. Recordón Ramírez

- 5- Tomamos lectura de las muestras sacándolas del recipiente y secándolas superficialmente con ayuda de la franela, los tiempos serán de acuerdo con la tabla anterior repitiéndose hasta que la masa sea constante.

Esfuerzo de ruptura a compresión simple

Esta prueba es la más utilizada en materiales ya que nos permite determinar la resistencia del material a la carga aplicada en dirección perpendicular a su superficie, es decir la fuerza máxima que puede soportar antes de que ocurra la ruptura. Siendo éste uno de los parámetros principales para el diseño estructural.

Normativa

Como en la mayoría de las pruebas realizadas en los adobes, no existe una normativa enfocada en este material, por lo que se llevó a cabo de acuerdo a la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014, para la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes.

Para esta prueba se utilizaron 3 cubos (8cm x 8cm x 8cm) de cada una de los bancos, llevándose a cabo en la Máquina Universal de Pruebas FORNEY, capacidad 120,000kg con aproximación a la centésima de kilogramo.

Procedimiento

- 1- Preparamos los especímenes de cabeceándolos con azufre para asegurarnos que la carga se distribuya de manera uniforme, lijando la superficie de azufre posteriormente para evitar cualquier irregularidad.



Figura 37: Especímenes cabeceados para probar a compresión

Fuente: P. Recordon Ramírez

- 2- Colocamos nuestra muestra en el equipo de ensayo bien alineado y con las caras de azufre en contacto con las superficies.



Figura 38: Espécimen colocado en equipo para compresión.

Fuente: P. Recordon Ramírez.

- 3- Se procede a aplicar carga de manera constante a una velocidad de 0.2 T/min \pm 0.05 hasta reportar la falla y la carga máxima obtenida y el tipo de falla presentada.



Figura 39: Fallo de espécimen a compresión

Fuente: P. Recordon Ramírez.

Esfuerzo de ruptura a la flexión

El esfuerzo de flexión es el esfuerzo normal que se presenta en la sección recta de una viga, cuando esta se somete a cargas transversales. (Gustavo C. C. & Darwin P.A., 2015). Para de esta manera poder determinar la carga máxima que un material puede soportar antes de fracturarse.

Normativa

Esta prueba nos basamos en la normativa turca “Natural Stone test methods – Determination of flexural strength under concentrated load” TS EN 12372,2007. La cual establece los métodos de prueba para determinar la resistencia a la flexión de piedras naturales cuando se someten a cargas concentradas. También consideramos la norma mexicana NMX-C-008-ONNCCE-2010, la cual está enfocada en concretos, y la resistencia de vigas a flexión que éstas presentan. Se utilizaron 3 vigas de cada uno de nuestros bancos de materiales de dimensiones 4cm x 4cm x 16 cm.

Procedimiento

- 1- Determinar las dimensiones de cada una de las vigas con ayuda del vernier, para posteriormente marcarlas; desde cada uno de sus extremos marcar una pulgada (2.54 cm) así como el centro de la misma. (Figura #40)



Figura 40: Vigas marcadas para probar a flexión

Fuente: P. Recordon Ramírez.

- 2- Colocamos en la prensa de la siguiente manera; dos rodillos como apoyos en las marcas externas y uno de ellos en la parte superior en la marca central para transmitir la carga de manera puntual.



Figura 41: Espécimen M-SN-02 colocado en prensa para ensaye

Fuente: P. Recordon Ramírez.

- 3- Procedemos a aplicar una velocidad constante de $0.20 \text{ T/min} \pm 0.05$ hasta su falla y tomamos lectura de cada uno de nuestros especímenes, midiendo en que segmento de la viga fue donde ocurrió la falla.



Figura 42: Espécimen presentando falla a flexión

Fuente: P. Recordon Ramírez.

Ensayo de corte triaxial (UU)

La prueba de ensayo de corte triaxial recibe este nombre porque implica la aplicación de esfuerzos en tres direcciones principales o ejes. Estos esfuerzos se aplican de manera controlada en un espécimen de suelo confinado en una cámara de ensayo. Los esfuerzos en los tres planos a los que se somete son:

- Esfuerzo axial, el esfuerzo aplicado en la dirección vertical sobre el espécimen de suelo. Representa la carga principal o la carga principal de interés en la prueba triaxial.
- Esfuerzo de confinamiento lateral, como bien su nombre lo dice es el esfuerzo que se aplica de manera uniforme a lo largo de nuestro espécimen.
- Esfuerzo radial, aplicamos un esfuerzo radial o de presión de agua para simular condiciones naturales.

En un ensayo triaxial, un espécimen cilíndrico de suelo es revestido con una membrana de látex dentro de una cámara a presión. La parte superior e inferior de la muestra tiene discos porosos, los cuales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar el espécimen. (Oscar et al., 2015.) Realizar esta prueba nos permite determinar la cohesión (C) y el ángulo de fricción interna del suelo (Φ).

Existen tres tipos de prueba triaxial

- 1- Prueba consolidada – drenada o prueba drenada (CD)
- 2- Prueba consolidada no drenada (CU)
- 3- Prueba no consolidada no drenada (UU)

Para este caso utilizamos la no consolidada no drenada (UU), que también es conocida como la prueba rápida ya que no se permite el drenaje y esto agiliza el desarrollo de la prueba.

Normativa

La prueba de llevo a cabo de acuerdo a la norma NMX-C-432-ONNCCE-2002 y se utilizaron muestras cilíndricas de 3.5 cm de diámetro con relación 1:2.5 con su largo.

Material

- Vernier
- Prensa triaxial con depósito para agua
- Equipo con manómetro y válvulas para presión de confinamiento
- Membrana de hule
- Papel filtro
- Bandas de hule
- Prensa
- Báscula con aproximación 0.01g.
- Membranas de látex
- Cronómetro
- Torno para el labrado
- Compresor

Procedimiento

- 1- Labrar a mano la muestra sobre un perno para lograr las dimensiones requeridas para la prueba 3.5cm de diámetro y el largo 8.75cm. Para posteriormente tomar medidas superiores, inferiores, medias y los diámetros con ayuda del vernier.



Figura 43: Labrado de especímenes para prueba triaxial

Fuente: P. Recordon Ramírez.

- 2- Después de tomar el peso de cada una de nuestras muestras, las colocamos en la cámara triaxial, se le coloca el cabezal encima, se cubre la muestra con una membrana de látex, ligada perfectamente para evitar que penetre el agua que se utiliza para dar confinamiento al suelo.



Figura 44 Colocación de espécimen cubierto de látex

Fuente: P. Recordón Ramírez

- 3- Una vez que la cámara se ha colocado en la prensa, se utiliza la manivela para elevarla hasta que el micrómetro que indica la carga se mueva una unidad. Luego, se introduce agua en la cámara para aplicar

la presión confinante necesaria para ensayar el primer espécimen. Durante este proceso, es importante verificar la válvula ubicada en la parte superior de la cámara, la cual debe estar ligeramente abierta. Cuando comience a salir una pequeña cantidad de agua, esto indicará que la cámara se ha llenado completamente. En ese momento, se procede a cerrar la válvula para mantener la presión adecuada dentro de la cámara.



Figura 45 Cámara triaxial colocada en prensa y llena de agua
Fuente: P. Recordón Ramírez

- 4- La manivela se posiciona en la tercera muesca para que la prensa funcione mediante el motor a una velocidad constante de 1.14 mm por minuto. Los extensómetros, que registran las unidades de carga y de deformación, se ajustan a cero.
- 5- Se procede a aplicar la carga, tomando lecturas de las unidades de carga y deformación cada 30 segundos o cada minuto. Esto continúa hasta que se registren dos unidades de carga iguales. También se detienen las lecturas o se suspende el ensayo si la muestra de suelo experimenta una deformación del 20% en comparación con su altura inicial.

- 6- Posteriormente, se libera la presión de confinamiento y se retira el espécimen fallado. Se realiza un croquis de este y se somete a secado en un horno para determinar su contenido de agua por diferencia de peso.



Figura 46 Especimen fallado con presencia de grieta

Fuente: P. Recordón Ramírez

- 7- Se repite el proceso con los otros especímenes variando únicamente la presión de confinamiento.

Resultados

Distribución granulométrica

La distribución granulométrica recomendada para la elaboración de bloques de adobe puede variar según el tipo de suelo disponible en la región. Sin embargo, existen algunas pautas generales.

La granulometría adecuada para los bloques de adobe suele requerir una mezcla de suelo arcilloso, arena y limo en proporciones específicas. La arcilla proporciona cohesión, la arena ayuda a mejorar la resistencia y el limo contribuye a la plasticidad y trabajabilidad de la mezcla.

Las distribuciones granulométricas de los suelos para la fabricación de adobe suelen tener las siguientes proporciones: (Souza Da Silva & Kimo Costa, 2022)

- Limos y arcillas 30-40%
- Arena gruesa 50-60%
- Grava 1-3%

De acuerdo a la primera muestra M-SN, del banco de suelo y adobe localizado en Simpanio Norte se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3 Granulometría gruesa M-SN

GRANULOMETRIA GRUESA				
Malla	Abertura (mm)	Reteni do parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa la malla (%)
2"	50.00	0	0	100%
1 1/2"	37.50	0%	0%	100%
1"	25.00	0%	0%	100%
3/4"	19.00	0%	0%	100%
1/2"	12.50	0%	0%	100%
3/8"	9.50	0%	0%	100%
1/4"	6.30	1%	1%	99%
No. 4	4.75	1%	1%	99%

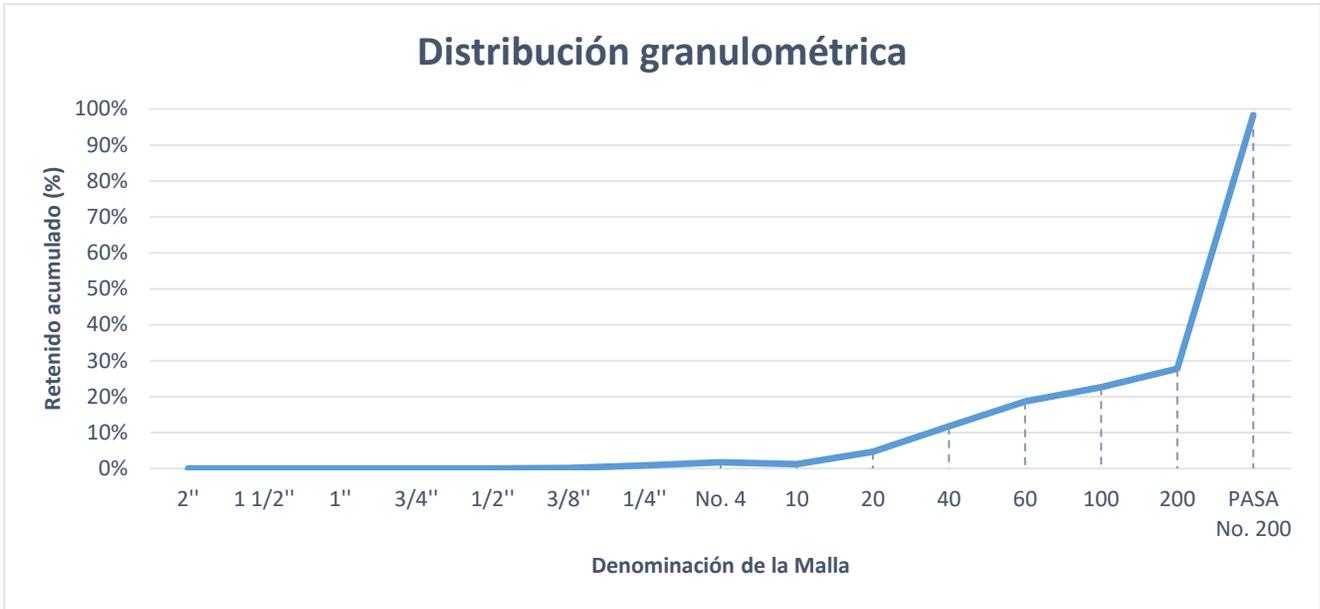
Fuente: P. Recordón Ramírez

Tabla 4 Granulometría fina M-SN

GRANULOMETRIA FINA				
Malla	Abertura (mm)	Retenido parical (%)	Retenido acumulado (%)	Pasa la malla (%)
10	2.000	1%	1%	97%
20	0.850	3%	5%	94%
40	0.425	7%	12%	87%
60	0.250	7%	19%	80%
100	0.150	4%	23%	76%
200	0.075	5%	28%	72%
PASA No. 200	-	71%	98%	-

Fuente: P. Recordón Ramírez

Tabla 5 Distribución granulométrica M-SN



Fuente: P. Recordón Ramírez

Como podemos observar los suelos de nuestros adobes se componen mayormente de arenas y finos, arrojándonos la siguiente distribución.

Tabla 6 Porcentajes correspondientes de grava, arenas, finos M-SN

Grava	2%
Arena	26%
Finos	72 %
Tamaño máximo	Malla 1/4" Abertura 6.30 mm

Fuente: P. Recordón Ramírez

Banco de Jesús del Monte

Tabla 7 Granulometría gruesa M-JM

GRANULOMETRÍA GRUESA				
Malla	Abertura (mm)	Retenido parcial(%)	Retenido acumulado (%)	Pasa la malla (%)
2"	50.00	0%	0%	100%
1 1/2"	37.50	0%	0%	100%
1"	25.00	0%	0%	100%
3/4"	19.00	0%	0%	100%
1/2"	12.50	0%	1%	99%
3/8"	9.50	0%	1%	99%
1/4"	6.30	1%	1%	99%
No. 4	4.75	2%	3%	97%

Fuente: P. Recordón Ramírez

Tabla 8 Granulometría fina M-JM

GRANULOMETRÍA FINA				
Malla	Abertura (mm)	Retenido parcial(%)	Retenido acumulado (%)	Pasa la malla (%)
10	2.0000	2%	2%	95%
20	0.8500	2%	4%	93%
40	0.4250	2%	6%	91%
60	0.2500	3%	8%	88%
100	0.1500	2%	10%	86%
200	0.0750	3%	13%	84%
PASA No. 200		84%	97%	

Fuente: P. Recordón Ramírez

Tabla 9 Distribución granulométrica M-JM



Fuente: P. Recordón Ramírez

Tabla 10 Porcentajes correspondientes grava, arena y finos M-JM

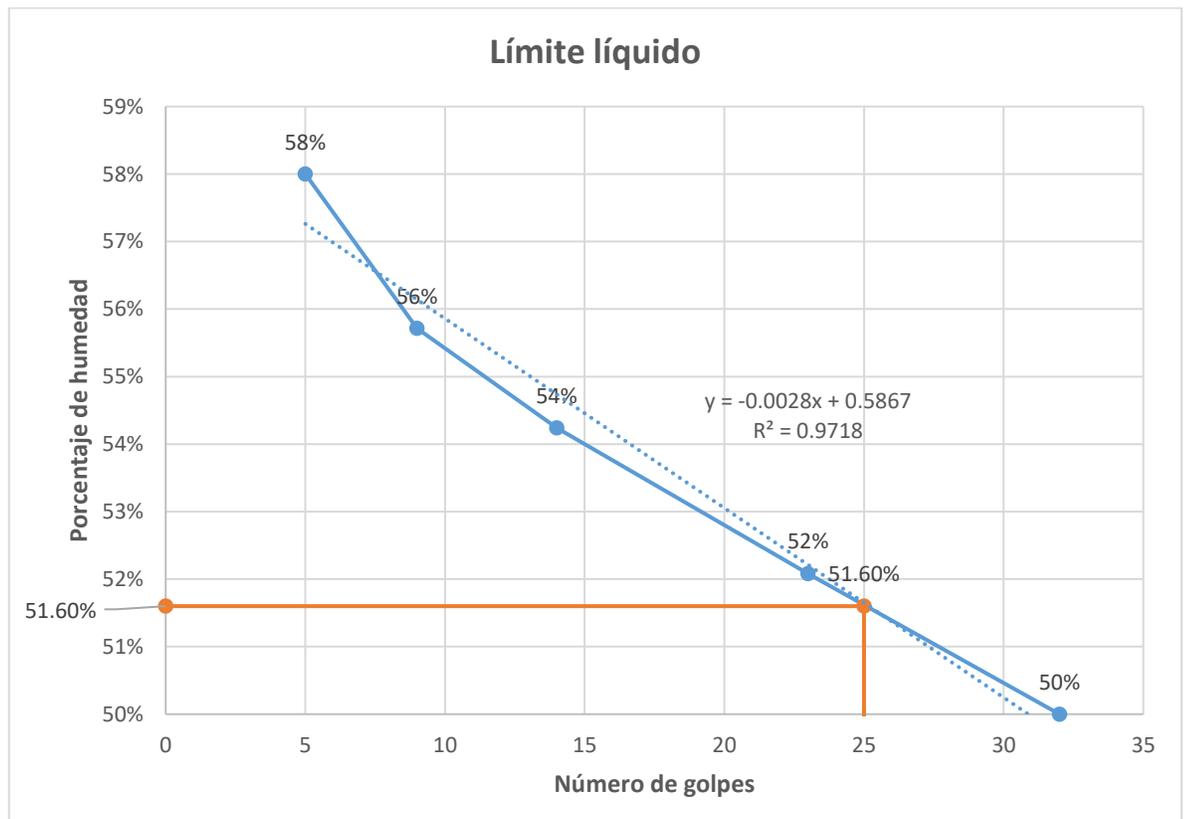
Grava	3%
Arena	10%
Finos	84 %
Tamaño máximo	Malla ½ ” Abertura 12.50 mm

Fuente: P. Recordón Ramírez

Límites, CL, CV Y SUCS

Simpanio Norte

Tabla 11 Límite líquido M-SN



Fuente: P. Recordón Ramírez

Como podemos observar en la Tabla #11 se llevó a cabo la prueba con 5 golpes conforme se fue perdiendo la humedad, para poder graficar y determinar el valor de límite líquido = 51.60 %

Tabla 12 Límite plástico M-SN

Masa de cápsula + suelo húmedo (g)	Masa cápsula + suelo seco (g)	Masa del agua (g)	Masa cápsula (g)	Masa del suelo seco (g)	Contenido de agua (%)
24.2	21.4	2.8	10.6	10.8	26
22.2	20.2	2	10.8	9.4	21
				PROMEDIO	24

Fuente: P. Recordón Ramírez

Para obtener el valor del límite plástico se realizó el procedimiento dos veces y el promedio del contenido de agua es nuestro valor, por lo que para este caso:

$$\text{Límite Plástico} = 24\%$$

El cálculo del Índice Plástico se hace con la siguiente expresión:

$$\text{IP} = \text{LL} - \text{LP}$$

Donde:

IP= Índice Plástico

LL= Límite Líquido

LP= Límite Plástico

Para el caso de nuestra muestra de Simpanio Norte (M-SN)

$$\text{IP} = 27.60$$

Tabla 13 CL y CV M-SN

Contracción lineal (CL)=	6%
Contracción volumétrica (CV)=	35%

Fuente: P. Recordón Ramírez



Figura 47 Resultados CL Y CV M-SN

Fuente: P. Recordón Ramírez

A continuación, en la Figura #48 se muestra la clasificación de los materiales de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

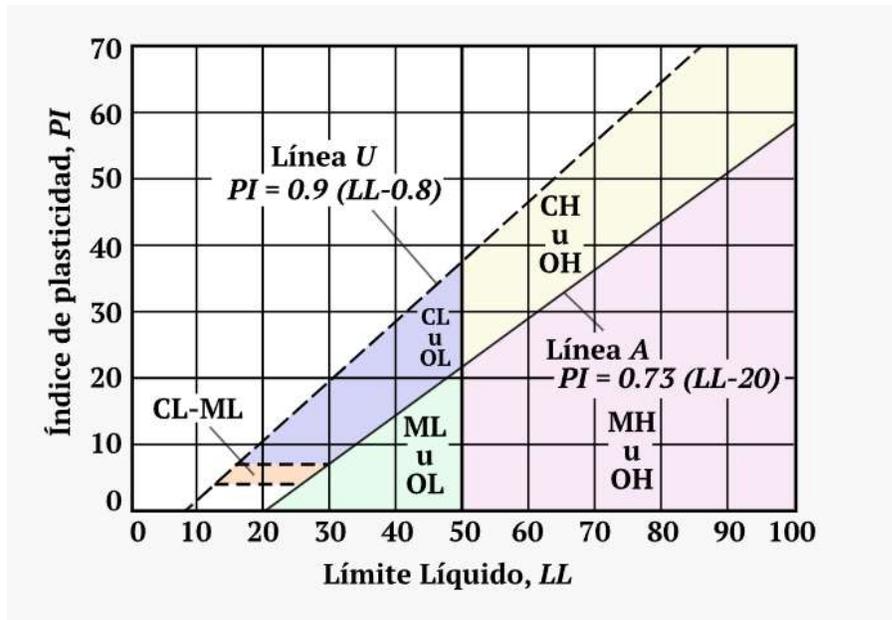


Figura 48 Tabla de clasificación SUCS

Fuente: Ingeniería de suelos

De acuerdo con la carta de plasticidad podemos localizar nuestra muestra Simpanio Norte M-SN

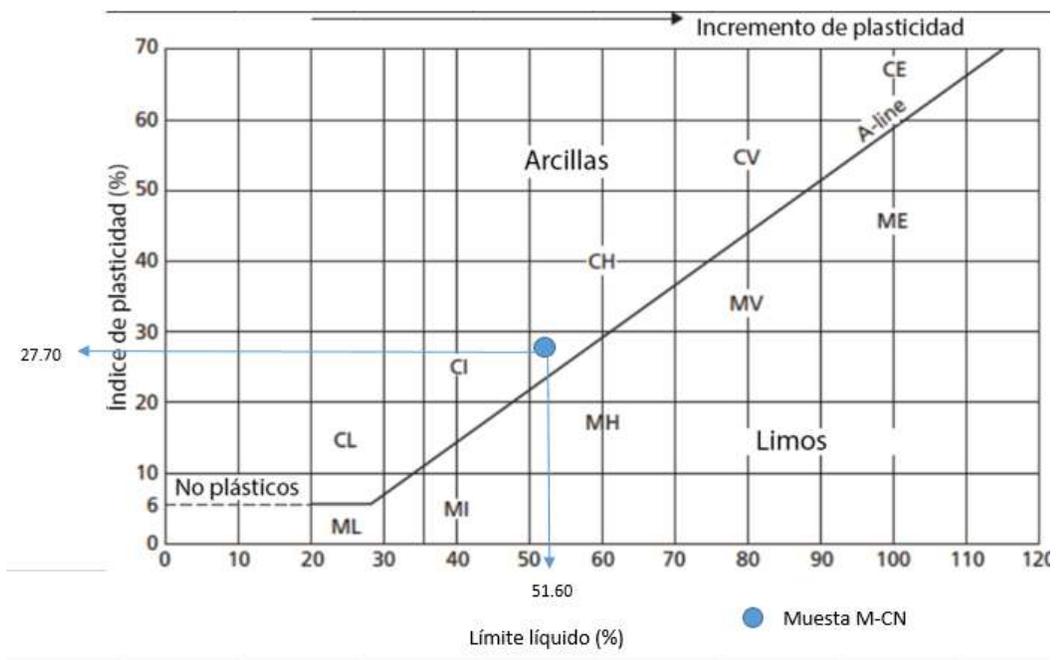


Figura 49 Gráfica de plasticidad del SUCS

Fuente: SUCS

Podemos ver que nuestras líneas de límite líquido e índice de plasticidad convergen en CH; Arcilla inorgánica de alta plasticidad.

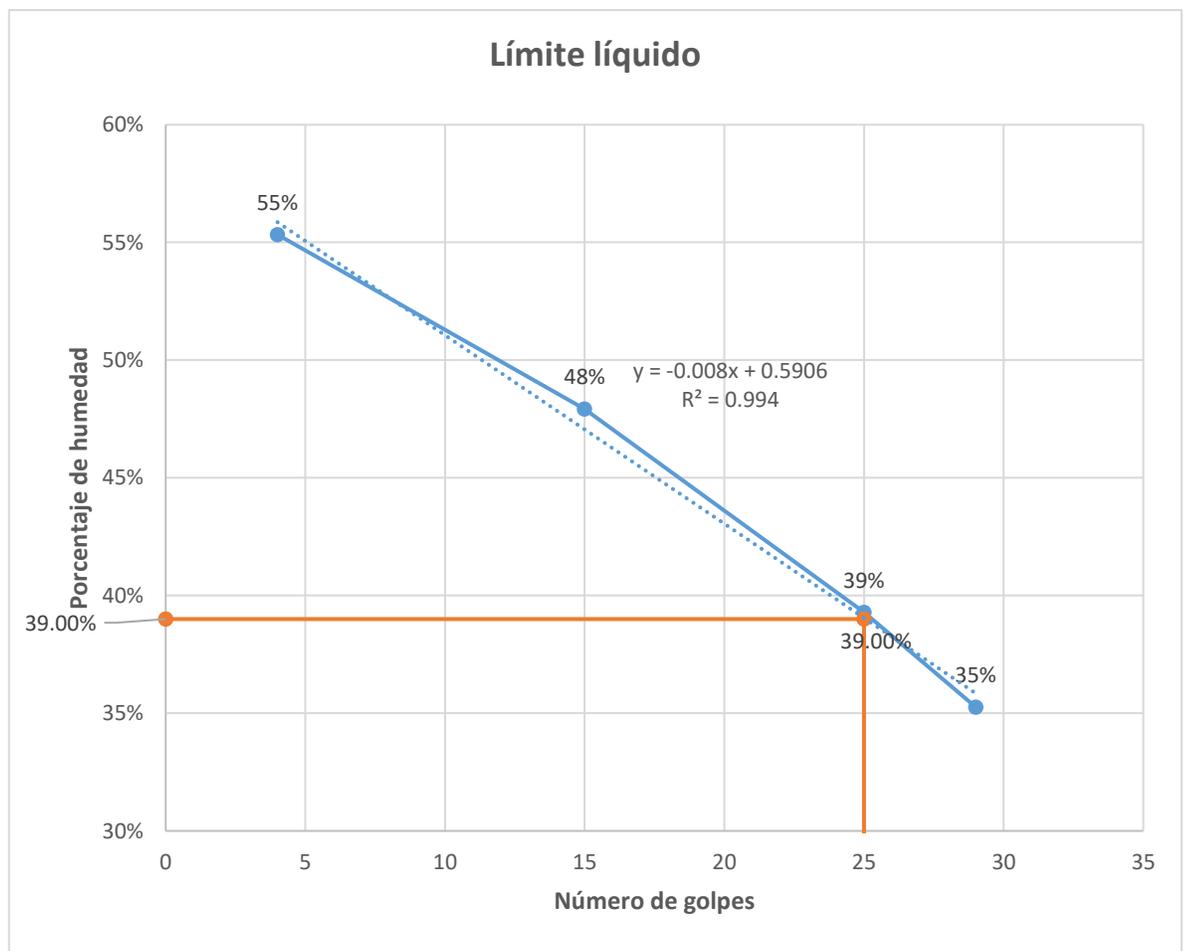
Tabla 14 Resultados Muestra SN

Muestra Simpanio norte (M-SN)	CH= Arcilla inorgánica de alta plasticidad
-------------------------------	--

Fuente: P. Recordón Ramírez

Jesús del Monte

Tabla 15 Límite líquido M-JM



Fuente: P. Recordón Ramírez

Como podemos observar en la Tabla #15 se llevó a cabo la prueba con 4 golpes conforme se fue perdiendo la humedad, para poder graficar y determinar el valor de **límite líquido = 39.00 %**

Tabla 16 Límite plástico M-JM

Masa de cápsula + suelo húmedo (g)	Masa cápsula + suelo seco (g)	Masa del agua (g)	Masa cápsula (g)	Masa del suelo seco (g)	Contenido de agua (%)
19.20	17.80	1.40	11.6	6.20	23
21.00	18.80	2.20	8.60	10.20	22
				PROMEDIO	23

Fuente: P. Recordón Ramírez

Para obtener el valor del límite plástico se realizó el procedimiento dos veces y el promedio del contenido de agua es nuestro valor, por lo que para este caso el valor de nuestro **límite plástico =23%**

El cálculo del índice plástico se hace con la siguiente expresión:

$$IP= LL - LP$$

Donde:

IP= Índice Plástico

LL= Límite Líquido

LP= Límite Plástico

Para el caso de nuestra muestra de Jesús del Monte (M-JM)

$$IP= 16.00$$

Tabla 17 CL y CV M-JM

Contracción lineal (CL)=	6%
Contracción volumétrica (CV)=	35%

Fuente: P. Recordón Ramírez



Figura 50 Resultados CL Y CV M-JM

Fuente: P. Recordón Ramírez

De acuerdo con la carta de plasticidad podemos localizar nuestra muestra Jesús del Monte M-JM:

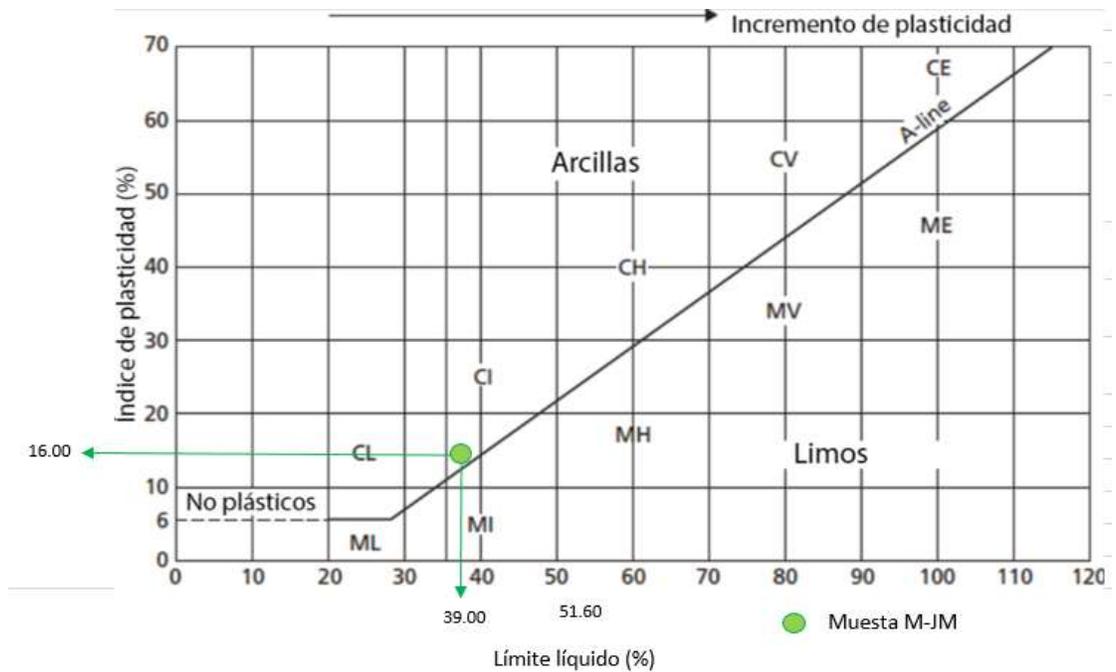


Figura 51 Clasificación SUCS de M-JM

Fuente: SUCS

Podemos ver que nuestras líneas de límite líquido e índice de plasticidad convergen en CL; Arcilla inorgánica de baja plasticidad.

Tabla 18. Clasificación SUCS M-JM

Muestra Jesús del Monte (M-JM)	CH= Arcilla inorgánica de baja plasticidad
--------------------------------	--

Fuente: P. Recordon Ramírez.

Observamos que ambos bancos resultaron ser arcillas lo cual era de esperarse a diferencia a su plasticidad alta (M-SN) y baja (M-JM), con distinta granulometría, al igual que el tamaño máximo de partícula que presentó cada uno de ellos. Se deberá analizar su comportamiento mecánico para poder encontrar correlaciones entre el suelo utilizado y su resistencia y trabajabilidad de sus partículas para poder hacer conclusiones y recomendaciones.

En la Figura #52 podemos observar la diferencia de plasticidad que presentan nuestras arcillas.

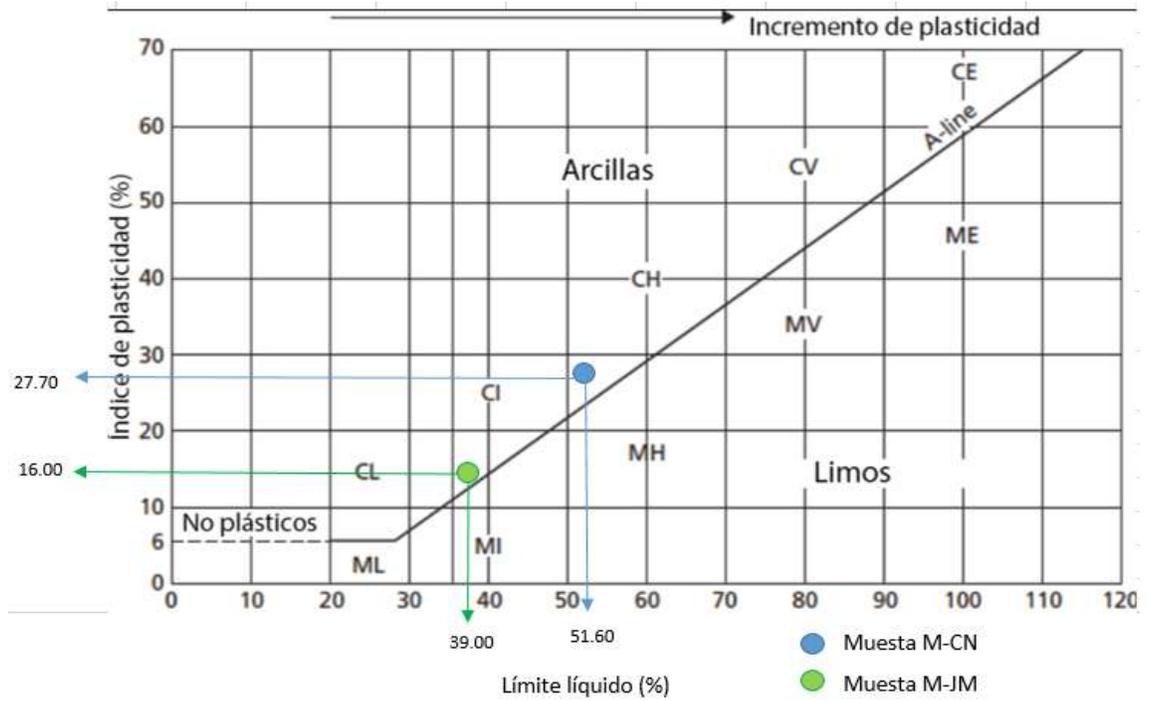


Figura 52 Clasificación SUCS Muestras M-SN, M-JM

Fuente: SUCS

Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU)

La velocidad de propagación de la onda está en función al material que atraviesa y es por ello que este parámetro se puede relacionar con propiedades mecánicas como el módulo de elasticidad, densidad y módulo de Poisson. (Aguilar et al., n.d.)

Con la velocidad obtenida en la prueba, logramos calcular el módulo de elasticidad dinámico de los adobes con la siguiente ecuación. (Panzera et al., 2011)

$$E_d = \frac{V^2 \rho (1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} 10.19368$$

Donde:

E_d =Módulo de elasticidad dinámico (kg/cm²)

V = Velocidad de pulso ultrasónico (km/s)

ρ = Densidad (kg/m³)

μ = Coeficiente de Poisson

El coeficiente de Poisson en adobes o en suelos va desde 0.15 hasta 0.50 (García, 2014). Por lo que para este caso se utilizará un valor de $\mu = 0.46$

Tabla 19 Velocidad de Pulso M-SN y M-JM

	Muestra	Vel (km/s)	Densidad (kg/m ³)	Poisson	Ed (kg/cm ³)	Velprom (km/s)	Ed prom (kg/cm ³)
Jesús del Monte	M-JM-C-01	1.1410	1459.39	0.46	4189.12	1.2214	4708.01
	M-JM-C-02	1.1430	1445.80	0.46	4164.67		
	M-JM-C-03	1.2310	1367.77	0.46	4569.94		
	M-JM-C-04	1.1610	1486.20	0.46	4416.95		
	M-JM-C-05	1.4310	1373.06	0.46	6199.40		
Cimpanio Norte	M-CN-C-01	1.2290	1435.16	0.46	4779.53	1.2018	4902.84
	M-CN-C-02	1.5510	1499.78	0.46	7954.85		
	M-CN-C-03	1.1300	1550.38	0.46	4364.91		
	M-CN-C-04	1.1540	1492.55	0.46	4382.50		
	M-CN-C-05	0.9450	1540.09	0.46	3032.41		

Fuente: P. Recordón Ramírez

Los valores de VPU en adobes de México, Portugal y Perú obtenidos de diversas investigaciones varían entre los 600 y 950 kg/cm³ (Sanchez-Calvillo et al., 2020). Con lo cual podemos notar que todos nuestros valores están por encima de estos.

Cuando la velocidad del pulso es alta, significa que las ondas de sonido se propagan rápidamente a través del material, lo que sugiere que el material es más uniforme en su estructura interna y tiene mayor densidad y menor porosidad. Por otro lado, si la velocidad del pulso es baja, las ondas de sonido se propagan más lentamente, lo que podría indicar que el material es menos homogéneo y tiene una estructura interna más compleja o irregular. Es decir es menos denso y mas poroso.

Dicho esto, podemos inferir que entre nuestros materiales la muestra proveniente de Jesús del Monte es más uniforme, al igual que su módulo de elasticidad dinámico, el cual está relacionado con algunas propiedades mecánicas de los materiales como la compresión que analizaremos más adelante.

Resistividad Eléctrica

Para realizar el cálculo utilizamos la siguiente formula:

$$\rho = Re \frac{A}{L}$$

Donde:

ρ = Resistividad eléctrica (k Ω /cm o Ω /m)

Re= Resistividad eléctrica (k Ω o Ω)

A= Área de la sección transversal del espécimen (cm²)

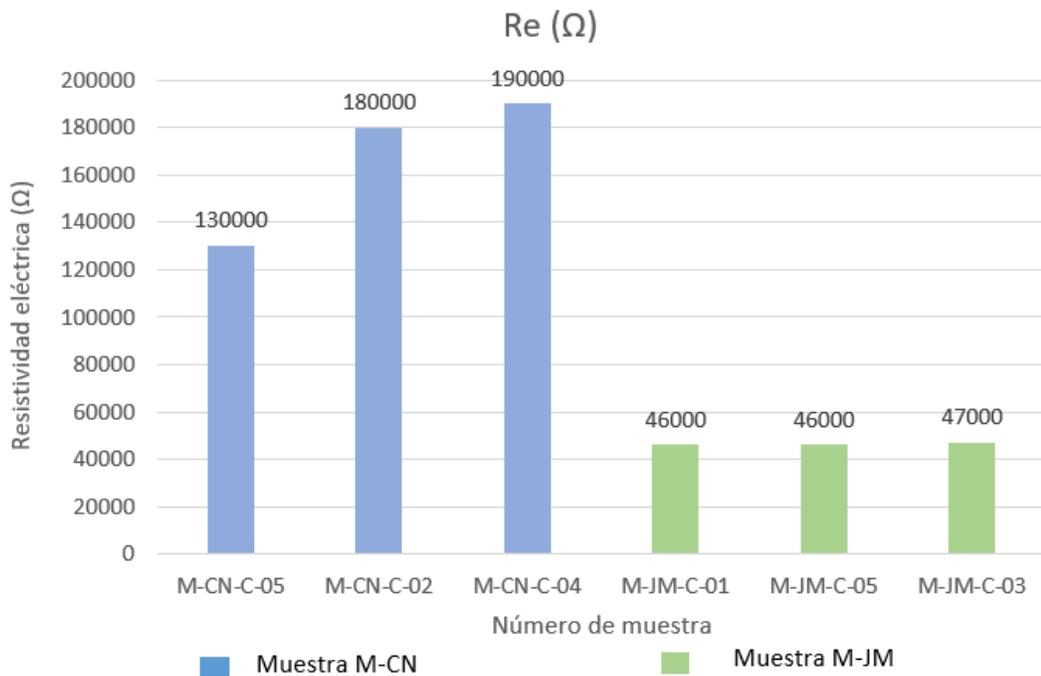
L= Longitud del espécimen (cm)

Tabla 20 Resistividad eléctrica M-SN y M-JM

	Muestra	a (cm)	b (cm)	A (cm ²)	L (cm)	Re (Ω)	ρ (kΩ.cm)	ρ (Ω.m)	ρ prom (Ω.m)
S. Norte	M-SN-C-05	7.77	7.71	59.91	7.93	130000	982.08	9820.77	12801.27
	M-SN-C-02	7.73	7.86	60.76	7.88	180000	1387.87	13878.69	
	M-SN-C-04	7.70	7.91	60.91	7.87	190000	1470.44	14704.36	
J. del Monte	M-JM-C-01	7.61	7.82	59.51	7.72	46000	354.59	3545.94	3599.55
	M-JM-C-05	7.96	7.80	62.09	7.86	46000	363.36	3633.65	
	M-JM-C-03	7.75	7.72	59.83	7.77	47000	361.91	3619.06	

Fuente: P. Recordón Ramírez

Tabla 21 Comparativa RE M-SN y M-JM



Fuente: P. Recordón Ramírez

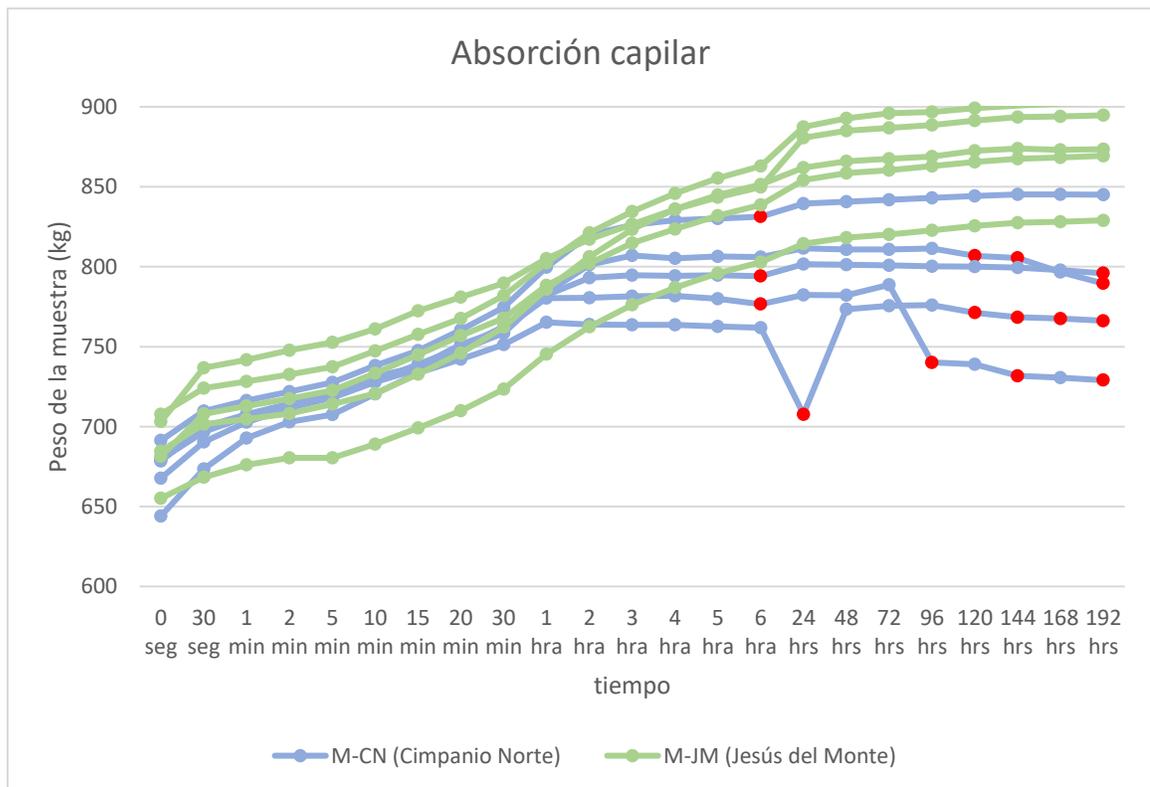
Podemos observar que los valores para nuestras muestras provenientes de Simpanio Norte (M-SN) son considerablemente mayores que los de Jesús del Monte (M-JM)

Fagerlünd o Absorción capilar

Como se mencionó anteriormente, el agua es el reto más grande que se nos presenta al momento de construir con adobe, ya que afecta directamente su comportamiento mecánico.

Al llevar a cabo estas pruebas podemos analizar la capacidad y el comportamiento que tienen los bloques al absorber agua. Así como su porosidad.

Tabla 22 Absorción capilar de muestras



Fuente: P. Recordón Ramírez

Como podemos observar en la tabla anterior los comportamientos entre las muestras fueron muy diferente. Los puntos de color rojo representan perdidas de masa, es decir al momento de sacar del agua la muestra para tomar el valor de su peso se desmoronaba y perdía material lítico. Aun así, se continuó dejándolo las saturar para analizar su comportamiento y esto continuó ocurriendo. A diferencia de la muestra M-JM la cual no tuvo perdida de material y su peso se volvió constante hasta las 192 horas de saturación. Dicho esto, podemos notar de manera evidente la ventaja que tiene la muestra M-JM sobre la M-SN en cuanto a absorción. Asumiendo que es un material más adecuado para la fabricación de blocks o bloques de adobe.



Figura 53 Resultado de muestras M-JM

Fuente: P. Recordón Ramírez



Figura 54 Muestras M-JM vistas desde abajo

Fuente: P. Recordón Ramírez

En las dos figuras anteriores (Figura #53 y #54) podemos observar el resultado final de las muestras provenientes de Jesús del Monte a la muestra M-JM-02, incluso le creció vegetación sobre ella. Sin embargo se puede observar en la Figura #55 que las muestras están saturadas, pero completamente íntegras.



*Figura 55 Resultado de muestras M-SN
Fuente: P. Recordón Ramírez*



*Figura 56 Vista por debajo muestras M-SN-01 y M-SN-02
Fuente: P. Recordón Ramírez*



*Figura 57 Vista por debajo muestras M-SN-03, M-SN-04, M-SN-05
Fuente: P. Recordón Ramírez*

En las figuras 56 y 57 podemos observar el comportamiento que tuvieron nuestras muestras provenientes de Simpanio Norte; desprendimiento de parafina desde la vista superior y desde la vista inferior logramos apreciar un notorio desprendimiento de líticos y de suelos.

Esfuerzo de Resistencia a Compresión Simple

Tabla 23 Compresión simple M-SN y M-JM

		Muestra	Densidad (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)	σ ruptura (kgf/cm ²)	σ promedio (kgf/cm ²)
Simpanio	Norte	M-SN-C-05	1459.39	1430.89	14.32	14.56
		M-SN-C-06	1430.45		15.76	
		M-SN-C-07	1402.83		13.60	
Jesús del	Monte	M-JM-C-05	1334.51	1437.91	14.80	17.62
		M-JM-C-06	1462.13		17.71	
		M-JM-C-07	1517.09		20.34	

Fuente: P. Recordón Ramírez



Figura 58 Esfuerzo a compresión simple antes de falla
Fuente: P. Recordón Ramírez



Figura 59 Esfuerzo a compresión simple después de falla
Fuente: P. Recordón Ramírez

De manera general todos los especímenes fallaron de la misma manera dentro del tercio medio de la viga por lo que de acuerdo con la normativa, los cálculos de Módulo de Ruptura se harán con la primera formula que se muestran a continuación:

$$R = \frac{Fl}{bh^2}$$

$$R = \frac{3Fa}{bh^2}$$

Donde:

R: Módulo de ruptura (kgf/cm²)

F: Carga máxima aplicada (kgf)

L: Distancia entre apoyos (cm)

b: Ancho del espécimen (cm)

h: Peralte del espécimen (cm)

a: Distancia promedio entre la fractura y el apoyo más cercano (cm)

Nuevamente, observamos una ventaja de las muestras provenientes de Jesús del Monte sobre las de Simpanio Norte.

Esfuerzo de Ruptura a la Flexión

De acuerdo con la normativa utilizada para realizar esta prueba en este caso la NMX-C-191-ONNCCE-2015, el cálculo para el esfuerzo de ruptura a la flexión es diferente de acuerdo con el tercio en el que se realiza la fractura de nuestra viga. Ya sea en el tercio medio o en cualquiera de los tercios externos.

Si la fractura se presenta en el tercio medio del claro del Módulo de Ruptura se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{Fl}{bh^2}$$

Si la fractura se presenta fuera del tercio medio del claro del Módulo de Ruptura se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{3Fa}{bh^2}$$

Donde:

R: Módulo de ruptura (kgf/cm²)

F: Carga máxima aplicada (kgf)

L: Distancia entre apoyos (cm)

b: Ancho del espécimen (cm)

h: Peralte del espécimen (cm)

a: Distancia promedio entre la fractura y el apoyo más cercano (cm)

Tabla 24 Esfuerzo a flexión M-SN y M-JM

Simpanio Norte

Jesús del Monte

Muestra	Longitud (cm)	Peralte (cm)	Ancho (cm)	Carga (Kgf)	Lugar de falla	a (cm)	R (kgf/cm ²)	Rprom (kgf/cm ²)
M-SN-C-05	15.56	3.93	4.01	9.3	Tercio medio	5.79	1.49	1.62
M-SN-C-06	15.32	4.11	4.21	11.9	Tercio medio	7.44	1.66	
M-SN-C-07	15.41	4.11	4.03	11.7	Tercio medio	7.04	1.70	
M-JM-C-05	15.27	3.94	3.98	13.6	Tercio medio	6.69	2.18	2.60
M-JM-C-06	15.39	4.07	4.08	16.6	Tercio medio	7.06	2.44	
M-JM-C-07	15.31	3.98	4.01	20.4	Tercio medio	7.21	3.19	

Fuente: P. Recordón Ramírez

Podemos observar que el lugar de falla de todas las muestras ocurrió en el tercio medio, por lo que todos los cálculos se llevaron a cabo con la misma fórmula. Este dato se toma cuando aparece la primera grieta y el esfuerzo de respuesta baja.

Pero para este caso en particular de ensayar adobes, ocurre una falla dúctil ya que al continuar ejerciendo una fuerza sigue resistiendo la carga de manera considerable hasta que por ultimo falla por completo (Tabla #24). Esto se debe al reacomodo interno que se genera y a la resistencia que opone a la flexión las fibras orgánicas que contiene el bloque.

Tabla 25 Segundo esfuerzo a flexión de muestras M-SN y M-JM

Simpanio Norte

Jesús del Monte

Muestra	Longitud (cm)	Peralte (cm)	Ancho (cm)	Carga (Kgf)	Lugar de falla	a (cm)	R (kgf/cm ²)	Rprom (kgf/cm ²)
M-SN-V-01	15.56	3.93	4.01	13.2	Tercio medio	5.79	2.11	2.88
M-SN-V-02	15.32	4.11	4.21	25.3	Tercio medio	7.44	3.53	
M-SN-V-03	15.41	4.11	4.03	20.6	Tercio medio	7.04	3.00	
M-JM-V-01	15.27	3.94	3.98	34.6	Tercio medio	6.69	5.56	5.00
M-JM-V-02	15.39	4.07	4.08	38.5	Tercio medio	7.06	5.65	
M-JM-V-03	15.31	3.98	4.01	24.2	Tercio medio	7.21	3.78	

Fuente: P. Recordón Ramírez



Figura 60 Muestra M-JM-V-3 sin fallas
Fuente: P. Recordón Ramírez



Figura 61 Muestra M-JM-V-3 presentando la primera grieta
Fuente: P. Recordón Ramírez



Figura 62 Muestra M-JM-V-3 completamente fallada
Fuente: P. Recordón Ramírez

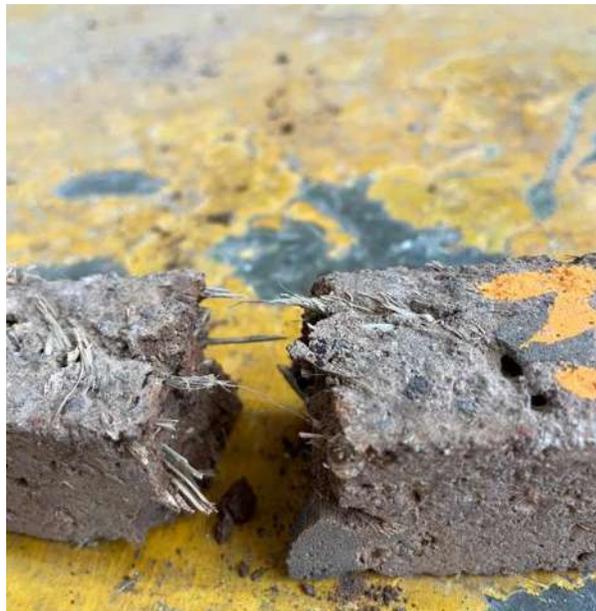
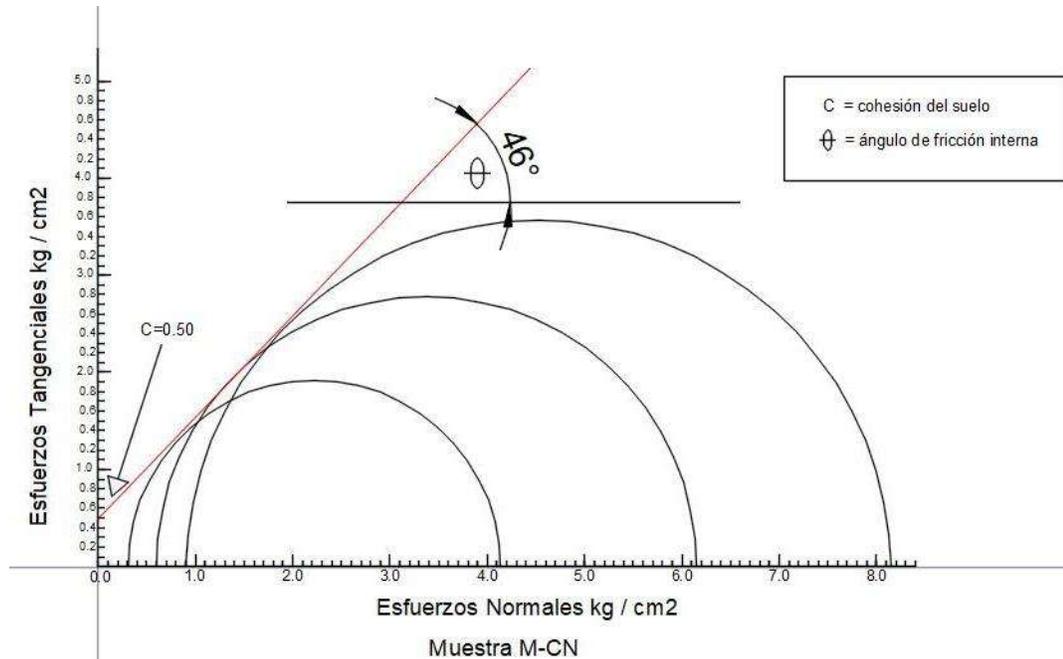


Figura 63 Muestra M-JM-V-3 y sus fibras
Fuente: P. Recordón Ramírez

Esfuerzo Triaxial

Tabla 26 Cohesión y ángulo de fricción M-SN



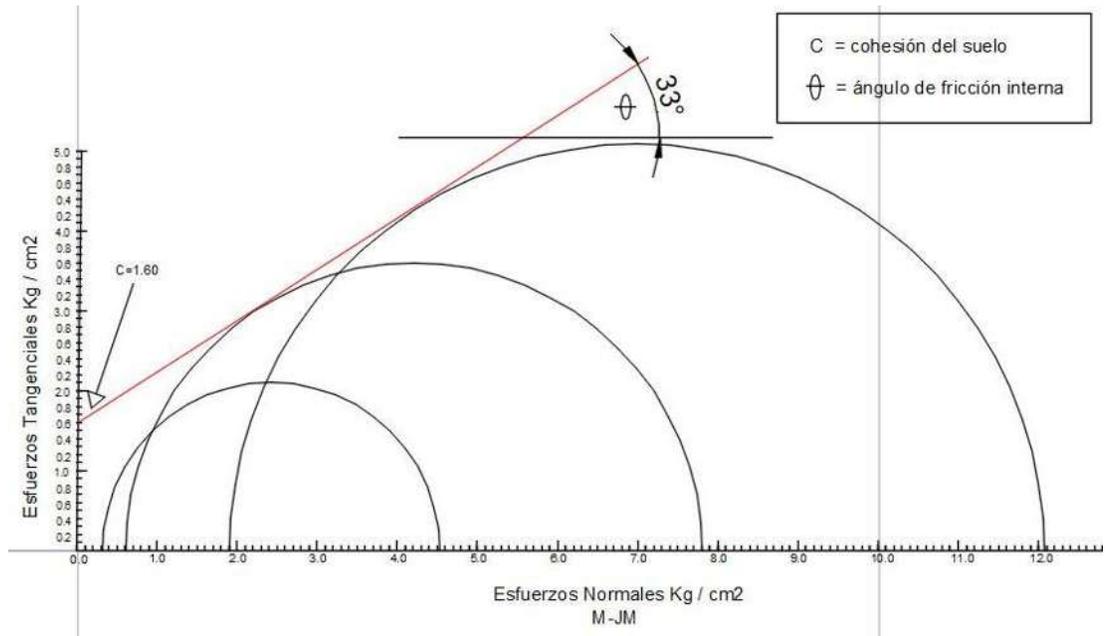
Fuente: P. Recordón Ramírez

De acuerdo con la Tabla 26 donde se observan los resultados de la Muestra **M-SN** la cohesión indicada es = 0.50 kg/cm² que representa la resistencia inherente del material cuando no está sujeto a esfuerzos normales externos. Este valor sugiere que el suelo posee cierta cohesión, lo cual es común en suelos con contenido arcilloso o materiales que presentan cierta cementación. El ángulo de fricción interna se muestra como 46°, lo cual indica un suelo con una alta resistencia al esfuerzo cortante bajo condiciones de carga. Este valor sugiere que el suelo es más granular, probablemente con un buen interbloqueo de partículas, ya que su ángulo de fricción es considerablemente alto.

La línea roja representa la envolvente de Mohr-Coulomb, que describe la resistencia al esfuerzo cortante del suelo bajo diferentes condiciones de carga. Dado que la pendiente de esta línea está asociada con el ángulo de fricción interna, un ángulo elevado implica una mayor resistencia al corte. Por lo que podemos suponer que

con un ángulo de fricción alto y una cohesión moderada, este suelo es adecuado para soportar cargas, pero puede ser menos resistente en condiciones de humedad elevada, ya que la cohesión podría verse reducida.

Tabla 27 Cohesión y ángulo de fricción M-JM



Fuente: P. Recordón Ramírez

Para la Muestra M-JM la cohesión del suelo es notablemente más alta con un valor de 1.60 kg/cm². Esto sugiere que el suelo tiene una resistencia interna significativa, probablemente debido a la presencia de partículas finas o un grado de cementación más fuerte que contribuye a la cohesión. El ángulo de fricción interna en esta muestra es de 33°, más bajo que el de la muestra M-SN. Un ángulo de fricción menor indica que el suelo podría tener menos interbloqueo de partículas y posiblemente un mayor contenido de material cohesivo como arcillas. Esto suele hacer que el suelo tenga menos resistencia al corte bajo cargas mayores en comparación con suelos más arenosos o granulares.

En términos generales la Muestra M-JM parece ser una opción más adecuada para la construcción de bloques de adobe sobre la muestra M-SN debido a su alta cohesión y su ángulo de fricción moderado de 33°. Estas propiedades son importantes en el contexto de construcción con adobe, donde la cohesión del material contribuye a la integridad estructural y la resistencia a esfuerzos.

Conclusiones

Referente a las pruebas realizadas a las muestras; Se pudo observar un mejor desempeño de las muestras provenientes de Jesús del Monte (JM) sobre las de Simpanio Norte (SN). Lo que sugiere que la selección de suelo y su composición tiene un impacto directo en la calidad del material.

Una investigación donde se evaluaron diversos bloques de adobe reflejo lo siguiente: “La resistencia a la compresión axial de los adobes elaborados en el presente estudio osciló entre los 12 kgf/cm² y 15 kgf/cm²” (Sánchez Tizapa et al., 2017). En comparación con la muestra proveniente de Jesús del Monte (JM) que obtuvo un promedio de 17.62 kgf/cm² en resistencia a la compresión siendo significativamente superior al rango anterior. Dicho esto, podemos afirmar que el banco Jesús del Monte cuenta con la resistencia suficiente para ser utilizado como material de construcción.

Correlacionado a su distribución granulométrica podemos inferir que su comportamiento superior es debido a la mayor plasticidad que esta presenta sobre Simpanio Norte (SN). Por lo que es importante analizar su distribución granulométrica en base a esta comparativa para de esta manera proceder a realizar mejoras a nuestro suelo en su caso o la fabricación en sitio de los bloques. Esto con el fin de dar como resultado una distancia cero en cuanto acarreo de nuestro material. Este hallazgo resulta relevante para futuros trabajos debido a que nos da un punto de partida en cuanto al análisis de suelos que se puede hacer en sitio para analizar si es adecuado el material para la fabricación de bloques.

Desde una perspectiva de sustentabilidad, el adobe es un material de bajo impacto. La huella de carbono asociada a su producción es significativamente baja, ya que se puede obtener de manera local o incluso en sitio y su proceso de fabricación requiere poca energía al ser considerado artesanal. Es importante mencionar que los bloques de adobe son considerados materiales reciclables y compostables, lo que contribuye a reducir los impactos ambientales negativos en todas las fases de su ciclo de vida.

Una de las ideas de este proyecto era la comprobación de las propiedades físico-mecánicas de distintos bloques de adobe para poder hacer recomendaciones en cuanto a los comportamientos de distintos suelos y bancos ubicados en la ciudad de Morelia. De la mano con sus ventajas ambientales para de esta manera fomentar su popularidad e ir deconstruyendo las percepciones culturales que se tienen acerca de que es un material “antiguo” que ya no es utilizado. Si no al contrario mostrar las tendencias que existen, la buena aceptación social que existe y la importancia cultural que representa en el estado de Michoacán y el mundo.

En conclusión, la investigación demuestra que el adobe es una opción viable tanto ecológica como económicamente para la construcción sustentable. Su uso puede reducir significativamente el impacto ambiental en la industria de la construcción, mejorando la calidad de vida de la sociedad. Inclusive, se ha comprobado que el adobe trabaja como un eficiente aislante térmico, regulando la temperatura interior de una edificación. Para consolidar su aplicación, es crucial continuar con líneas de investigación que permitan estandarizar el material y sus procesos, además de promover su aceptación social.

Bibliografía

- Aguilar, R., Saucedo, C., Montesinos, ; Mijail, Ramírez, ; Eduardo, Morales, R., & Santiago Uceda, ; (n.d.). *CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LAS UNIDADES DE ADOBE DEL COMPLEJO ARQUEOLÓGICO HUACA DE LA LUNA MEDIANTE ENSAYOS DE ULTRASONIDO*.
- Antonio, A., Acosta, T., Moreno, A., Gabriel, V., Mendo, R., Guadalupe, M., González, L., & Madrid, M. M. (2019). *Publicación Técnica No. 543 Sanfandila, Qro.*
- Azhar, S., Nadeem, A., Mok, johnny, & Leung, B. (2008, July). *Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects*.
- Bareiss, R. (2022). *Modular construction: From projects to products*.
- Bestraten, S., Hormías, E., & Altemir, A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. *Informes de La Construcción*, 63(523), 5–20.
<https://doi.org/10.3989/ic.10.046>
- Cid, J., Mazarrón, F. R., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de La Construcción*, 63(523), 159–169.
<https://doi.org/10.3989/ic.10.011>
- Cirvini, S. A., & Gómez Voltan, J. A. (2014). Test and device to evaluate the capillary absorption in soil specimens of adobe and rammed earth. In *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia* (Vol. 37, Issue 1).
- Diker, B., & Yazıcıoğlu, F. (2020, July). *An Assessment of Thermal Performance in Adobe Structures*.
- Fabio Gatti. (2022). *Arquitectura y construcción en tierra*.
<http://mastersuniversitaris.upc.edu/tecnologiaarquitectura>
- García, A. H. (2014). *ELASTOPLASTICIDAD DE UN SUELO FRANCO ARENOSO DE SABANA SANDY LOAM SAVANNA SOIL ELASTOPLASTICITY*. 26, 153–167.
- Gustavo C. C., & Darwin P.A. (2015). *Guía de laboratorio de resistencia de materiales* (Vol. 1). Unimagdalena.
- Hassan Fathy. (2010). *Architecture for the Poor: An Experiment in Rural Egypt*. University of Chicago Press.

- Jiménez Delgado, M. C., & Guerrero, I. C. (2007). The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review. *Construction and Building Materials*, 21(2), 237–251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.006>
- Klöpffer, W. (2006). The Hitch Hiker’s Guide to LCA - An orientation in LCA methodology and application. *International Journal of Life Cycle Assessment - INT J LIFE CYCLE ASSESS*, 11, 142. <https://doi.org/10.1065/lca2006.02.008>
- Kuhlman, T., & Farrington, J. (2010). What is Sustainability? *Sustainability*, 2(11), 3436–3448. <https://doi.org/10.3390/su2113436>
- Matisoff, D. C., Noonan, D. S., & Flowers, M. E. (2016). Policy monitor-green buildings: Economics and policies. *Review of Environmental Economics and Policy*, 10(2), 329–346. <https://doi.org/10.1093/reep/rew009>
- Morel, J. C., Mesbah, A., Oggero, M., & Walker, P. (2001). Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction. *Building and Environment*, 36(10), 1119–1126. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00054-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00054-8)
- NMX. (n.d.). NMX-C-496-ONNCCE-2014 . In 2014.
- Oscar, I., Salas, V., & Resumen, L. (n.d.). Ensayos triaxiales para suelos. In *Métodos y Materiales • Año* (Vol. 1).
- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012a). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>
- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2012b). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. *Construction and Building Materials*, 29, 512–519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.054>
- Panzer, T. H., Christoforo, A. L., de Paiva Cota, F., Ribeiro Borges, P. H., & Bowen, C. R. (2011). Ultrasonic Pulse Velocity Evaluation of Cementitious Materials. In *Advances in Composite Materials - Analysis of Natural and Man-Made Materials*. InTech. <https://doi.org/10.5772/17167>
- Purvis, B., Mao, Y., & Robinson, D. (2019). Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustainability Science*, 14(3), 681–695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>
- Raavi, S. S. D., & Tripura, D. D. (2021). Ultrasonic pulse velocity and statistical analysis for predicting and evaluating the properties of rammed earth with natural and brick aggregates. *Construction and Building Materials*, 298. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123840>

- Sanchez-Calvillo, A., Preciado-Villicaña, D., Navarro- Mendoza, E. G., Alonso-Guzman, E. M., Nuñez-Guzman, E. A., Chavez-Garcia, H. L., Ruiz-Mendoza, M., & Martinez-Molina, W. (2020). Analysis and characterisation of adobe blocks in jojutla de Juárez, México. Seismic vulnerability and loss of the earthen architecture after the 2017 Puebla earthquake. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 54(M-1), 1133–1140. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-1133-2020>
- Sánchez Tizapa, S., Villaseñor Franco, A., Guinto Herrera, E., Barragán Trinidad, R., & Mebarki, A. (2017). Propuesta de valores de referencia para la resistencia de diseño a compresión diagonal y compresión de la mampostería en el estado de Guerrero, México. *Revista ALCONPAT*, 7(3), 231–246. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i3.159>
- Sociedad, G., Mexicana, A. C., México Gama-Castro, J. E. ; Cruz Y Cruz, T. ; Pi-Puig, T. ; Alcalá-Martínez, R. ; Cabadas-Báez, H. ; Jasso-Castañeda, C. ; Díaz-Ortega, J. ; Sánchez-Pérez, S. ; López-Aguilar, F. ; & Vilanova De Allende, R. (2012). Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. *Geológica Mexicana*, 64(2), 177–188. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94326949003>
- Souza Da Silva, L. E., & Kimo Costa, S. (2022). *Nature and Conservation*. <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2023.001.0002>
- United Nations. (2023). *Sustainable Development Goals*. <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- United Nations Treaty Collection. (2018). *Escazú Agreement*. https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-18&chapter=27&clang=_en
- V., R., . J. E., . T., . T., . R., . H., . C., . J., . S., & . F. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64, 177–188. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94326949003>
- Xiang, Q., Pan, H., Ma, X., Yang, M., Lyu, Y., Zhang, X., Shui, W., Liao, W., Xiao, Y., Wu, J., Zhang, Y., & Xu, M. (2024). Impacts of energy-saving and emission-reduction on sustainability of cement production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 114089. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114089>

Paola Recordón Ramírez

CONSTRUCCIÓN CON ADOBE PARA UN ESTILO DE VIDA SUSTENTABLE.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:419830821

Fecha de entrega

8 ene 2025, 1:08 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

8 ene 2025, 1:14 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

CONSTRUCCIÓN CON ADOBE PARA UN ESTILO DE VIDA SUSTENTABLE.pdf

Tamaño de archivo

4.0 MB

119 Páginas

20,329 Palabras

118,219 Caracteres

27% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 26%  Fuentes de Internet
- 12%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión



Texto oculto

72 caracteres sospechosos en N.º de páginas

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental	
Título del trabajo	Construcción con adobe para un estilo de vida sustentable	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Paola Recordón Ramírez	2226313c@umich.mx
Director	Wilfrido Martínez Molina	wilfrido.martinez@umich.m
Codirector	Elia Mercedes Alonso Guzmán	elia.alonso@umich.mx
Coordinador del programa	Hugo Luis Chávez García	luis.chavez@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	NO	NA

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	NO	NA
Traducción a otra lengua	NO	NA
Revisión y corrección de estilo	NO	NA
Análisis de datos	NO	NA
Búsqueda y organización de información	NO	NA
Formateo de las referencias bibliográficas	NO	NA
Generación de contenido multimedia	NO	NA
Otro	NO	NA

Datos del solicitante	
Nombre y firma	PAOLA RECORDÓN RAMÍREZ
Lugar y fecha	MORELIA MICHOACÁN 6 DE ENERO DEL 2025