



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE MATERIALES**

**“CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE  
JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO”**

**TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:  
DAVID PRECIADO VILICAÑA**

**DIRECTOR DE TESIS:  
M.I.T. ERNESTO ALBERTO NÚÑEZ GUZMÁN**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:  
M. ADRIÀ SÁNCHEZ CALVILLO**

**MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO, JULIO DEL 2020**

## **AGRADECIMIENTOS**

Antes que nada quiero agradecer a Dios por darme salud, bienestar y terminar la carrera de ingeniería civil que no es nada fácil, en ella hubo situaciones llenas con todo tipo de sentimientos, sin embargo cada una la solucioné con el apoyo de las siguientes personas que debo agradecer:

M.I.T. Ernesto Alberto Núñez Guzmán por ser mi director de tesis, por su amabilidad, por compartir conocimientos, asesorías, por darme consejos en la realización de las pruebas necesarias en este trabajo y hacer correcciones para presentar resultados adecuados en este trabajo. Añadiendo a lo anterior quiero agradecer por toda la atención que me dio durante mi etapa como voluntario del servicio social en el área de mecánica de suelos.

Adrià Sánchez Calvillo por ser mi co-director de tesis, por todo lo que me ha enseñado en este proceso, por su generosidad en compartir herramientas de estudio que me van a servir por mucho tiempo, en especial por su paciencia, tiempo y dedicación para la realización de este texto.

Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán por darme la oportunidad de investigar un tema muy relevante, por compartirme sus conocimientos de una forma asombrosa, así como ofrecerme diversas herramientas para realizar esta tesis y brindarme la confianza por manipular un material considerado muestra patrimonial.

A los técnicos del laboratorio de mecánica de suelos Ing. Omar Salvador Miranda Leal, Ing. José Israel Bocanegra Torres, Rafael Valadez Magaña, por su ayuda en

los procedimientos y manejo de los equipos para realizar las pruebas de esta tesis.

A mi compañera Melissa Ruiz Mendoza y al Ing. Pablo García Díaz, por apoyarme en la ejecución de pruebas necesarias de esta investigación, de lo contrario ese proceso se hubiera alargado.

A la Facultad de Ingeniería Civil por abrirme sus puertas, darme la oportunidad de terminar esta gran carrera y formarme como profesionalista.

Al Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” por darme las herramientas necesarias para hacer posible este trabajo de investigación.

A los profesores de la Facultad de Ingeniería Civil por dedicar parte de su tiempo y compartir sus conocimientos.

Al M.I. Marco Antonio Navarrete Seras por su apoyo en el procedimiento de la prueba de carga puntual en el mes de agosto del año 2019.

Al Maestro Osvaldo de la Paz Soto por su ayuda en la recolección del material a analizar durante el mes de julio del año 2018.

A mis padres José Carlos Preciado Carrillo y Gabriela Villicaña Coria, por el amor y cariño con el que fui educado, esos sentimientos definen la persona que soy en la actualidad, ambos son mi mayor fuente de inspiración, han estado presentes en

los mejores momentos de mi vida, sus palabras me han alentado a nunca rendirme ante las adversidades.

A mi hermano Carlos Preciado Villicaña que desde la infancia él ha estado presente para apoyarme en cualquier situación, por ser mi gran ejemplo a seguir, mi guía, por enseñarme a disfrutar de los momentos de felicidad y motivarme en ser mejor cada día.

A todos mis amigos en general, quienes me acompañaron en los momentos más felices y complicados durante toda esta licenciatura.

**MUCHAS GRACIAS A TODOS POR SU APOYO**

## RESUMEN

El uso del suelo como materia de construcción ha estado presente en nuestro país, México, por siglos, mucho antes de la llegada de los españoles al continente americano. Esta cultura de construcción en tierra sigue presentes hasta el día de hoy en numerosas regiones del mundo, y México no es la excepción.

Un número considerable de la población mexicana continúa habitando viviendas construidas con adobe, sin embargo, existe la problemática que a este tipo de edificios no se les da importancia debido a diversos factores, siendo el más destacado a falta de reglamentos para construcciones de tierra.

El conjunto de material que se estudió para esta tesis de licenciatura en ingeniería civil se conforma por 13 muestras de bloques de adobe procedentes del municipio de Jojutla de Juárez, Morelos, una de las localidades más agraviadas en el estado de Morelos tras el Sismo de Puebla de 2017. Los ladrillos de adobe permanecieron en investigación con pruebas destructivas y no destructivas para conocer sus características mecánicas y sus propiedades índices. Las pruebas ejecutadas durante la investigación fueron: colorimetría, humedad actual, resistividad eléctrica, velocidad de pulso ultrasónico, esfuerzo a compresión simple, microscopía, potencial de hidrógeno, esfuerzo a carga puntual, granulometría y límites de consistencia.

Los resultados de la investigación permiten conocer la respuesta mecánica del material ante fenómenos naturales como los sismos, en especial las pruebas de esfuerzo a compresión simple. También permitieron un mejor conocimiento de los materiales de construcción de tierra que han sido poco desarrollados en el estado del arte y la ingeniería civil.

Palabras clave: suelo, adobe, sismo, fenómenos naturales, construcción de tierra.

## **ABSTRACT**

The use of earth as a building material has been present in our country, México, for centuries, long time before the arrival of the Spanish to the American continent. This earthen construction culture is still present to this day through the world, and Mexico is not the exception.

A considerable percentage of the Mexican population continue to live in adobe houses, nevertheless, it is conflictive because these types of buildings are not relevant due to various factors, the most notable being the lack of regulations for earthen constructions.

The sample studied in this Bachelor's Degree Thesis in civil engineering consisted of 13 adobe block samples from the municipality of Jojutla de Juárez, one of the most affected towns in the state of Morelos after the 2017 Puebla Earthquake. The adobe bricks were analyzed with destructive and non-destructive tests to know their mechanical characteristics and index properties. The tests performed during the research were: colorimetry, current humidity, electrical resistivity, ultrasonic pulse velocity, simple compression, microscopy, hydrogen potential, point load, particle size and consistency limits.

The results of the research make possible to understand the mechanical response of the material against natural phenomena such as earthquakes, especially with the simple compression stress tests. It also allowed achieving a better knowledge of the earthen construction materials, which have not been widely developed in the state of the art and the civil engineering.

Key words: soil, adobe, earthquake, natural phenomena, earthen construction.



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS .....	3
RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS .....	i
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	vii
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
JUSTIFICACIÓN .....	4
OBJETIVO .....	5
1    CAPÍTULO I. MARCO REFERENCIAL / ESTADO DEL ARTE .....	6
1.1    JOJUTLA DE JUÁREZ, ESTADO DE MORELOS .....	6
1.1.1    CASO DE ESTUDIO/PROBLEMÁTICA EN JOJUTLA .....	6
1.1.2    LOCALIZACIÓN. ....	7
MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN .....	7
1.1.3    CLIMA.....	8
1.1.4    POBLACIÓN.....	8
1.2    CONSTRUCCIÓN DE TIERRA/ADOBE .....	9
1.2.1    LA ARQUITECTURA DE TIERRA .....	12
1.2.2    CONSTRUCCIÓN CON ADOBE EN MÉXICO.....	13
1.3    SUELOS.....	18
1.3.1    DEFINICIÓN.....	18
1.3.2    ORIGEN Y FORMACIÓN DEL SUELO .....	21
1.3.3    CLASIFICACIÓN DEL SUELO .....	24

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE  
JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

1.3.4	CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS .....	25
1.3.5	SISTEMA UNIVERSAL DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.) 27	
1.3.6	CONSISTENCIA DEL SUELO.....	33
1.3.7	PLASTICIDAD .....	34
1.3.8	ESTADOS DE CONSISTENCIA DEL SUELO.....	35
1.3.9	ARCILLAS .....	37
1.3.10	EDAFOLOGÍA DE JOJUTLA.....	38
1.4	SISMICIDAD .....	40
1.4.1	DEFINICIÓN DE SISMO. ....	40
1.4.2	SISMICIDAD EN MÉXICO.....	40
1.4.3	REGIONES SÍSMICAS EN MÉXICO.....	41
1.4.4	SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985. ....	42
1.4.5	SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DEL 2017. ....	46
2	CAPÍTULO II. MÉTODOS DE PRUEBA / METODOLOGÍA.....	50
2.1	COLORIMETRÍA.....	55
2.2	HUMEDAD ACTUAL.....	57
2.3	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA .....	58
2.4	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO.....	59
2.5	ESFUERZO A COMPRESIÓN SIMPLE.....	61
2.6	ESFUERZO A CARGA PUNTUAL.....	64
2.7	MICROSCOPIA.....	67
2.8	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH).....	69
2.9	GRANULOMETRÍA EN MATERIAL FINO.....	71
2.10	PRUEBA DE LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	74

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE  
JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

3	RESULTADOS .....	89
3.1	COLORIMETRÍA.....	89
3.2	HUMEDAD ACTUAL.....	90
3.3	RESISTIVIDAD ELÉCTRICA .....	91
3.4	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO.....	92
3.5	ESFUERZO A COMPRESIÓN SIMPLE.....	93
	Comparación de resultados con trabajos de tesis de licenciatura y artículos de investigación .....	94
3.6	ESFUERZO A CARGA PUNTUAL.....	96
3.7	MICROSCOPIA.....	97
3.8	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH).....	100
3.9	GRANULOMETRÍA FINA.....	101
3.10	LÍMITES DE CONSISTENCIA .....	107
4	CONCLUSIONES .....	112
5	BIBLIOGRAFÍA.....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macro localización de Jojutla de Juárez.....	7
Figura 2. Micro localización de Jojutla de Juárez.....	7
Figura 3. Prontuario de información geográfica.....	8
Figura 4. Distribución de las construcciones de adobe alrededor del mundo .....	10
Figura 5. Bóvedas del templo de Ramsés II; Arge Bam, Irán.....	10
Figura 6. Valle del Draa, Marruecos; Ruinas de Catal Huyuk, considerada la ciudad más antigua del mundo.....	11
Figura 7. Gran Mezquita de Djenné en Malí; Alhambra de Granada.....	12
Figura 8. Fortaleza en Baños de la Encina, Jaén; Tulous de Hakka están situados en Chuxi, China.....	12
Figura 9. Shibam, Yemen.....	12
Figura 10. Zona arqueológica de Paquimé en Casas Grandes, Chihuahua. ....	14
Figura 11. Casas acantilado con más de quinientos años de antigüedad en Sirupa, Chihuahua; abandono y alteración de la arquitectura tradicional de Casas Grandes, Chihuahua. ....	14
Figura 12. Templo y hacienda la Goma, Durango.....	15
Figura 13. Iglesia de Santa Ana de Hornos, Coahuila.....	16
Figura 14. Pátzcuaro, Michoacán.....	16
Figura 15. Estructura interna de la tierra. ....	19
Figura 16. Límites de Atterberg. ....	34
Figura 17. Prueba de límite líquido: (a) dispositivo para la prueba (copa de Casagrande); (b) ranurador.....	35
Figura 18. Prueba de límite líquido: (c) pasta de suelo antes de la prueba; (d) pasta de suelo después de la prueba.....	35
Figura 19. Límite de contracción. ....	36
Figura 20. Límite de contracción de la muestra 1, ensayo 4. ....	36
Figura 21. Suelo tipo vertisol en Jojutla de Juárez, Morelos. ....	39
Figura 22. Muestra de suelo tipo vertisol.....	39
Figura 23. Placas tectónicas que interactúan en territorio mexicano. ....	41
Figura 24. Zonas sísmicas de México.....	42

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

Figura 25. Epicentro del sismo del 19 de septiembre de 1985.....	42
Figura 26. Daños generados por el sismo de 1985.....	43
Figura 27. Daños generados por el sismo de 1985.....	43
Figura 28. Mapa de intensidades del temblor del día 19 de septiembre de 2017.	46
Figura 29. Mapa de sismicidad anual 2017.....	47
Figura 30. Localización del sismo del 19 de septiembre magnitud 7.1 en escala de Richter.....	48
Figura 31. Localización de las muestras en el municipio de Jojutla .....	50
Figura 32. Localización de las muestras en Jojutla, y comparación con la zonificación sísmica de mayor peligro identificada por las brigadas de emergencia. ....	51
Figura 33. Mapa de Jojutla de Juárez, Morelos. En achurado se indican las zonas afectadas por el sismo del 19 septiembre de 2017, correspondientes a la Colonia Centro y la Colonia Emiliano Zapata. ....	51
Figura 34. Fabricación de bloques de adobe y ladrillos cerámicos. ....	52
Figura 35. Materiales utilizados para la producción del adobe: arcilla y paja.....	53
Figura 36. Bloques de adobe en construcciones de Jojutla de Juárez, Morelos...	53
Figura 37. Daños en construcciones ocasionadas por el sismo del 19 de septiembre de 2017.....	54
Figura 38. Preparación de la zona de trabajo, muestra de adobe.....	54
Figura 39. Labrado de bloque de adobe, bloque de adobe recién labrado. ....	55
Figura 40. Diagrama de espacio de color.....	56
Figura 41. Bloques de adobe. ....	56
Figura 42. Uso del equipo de colorimetría.....	57
Figura 43. Obtención del porcentaje de humedad actual. ....	57
Figura 44. Medición de la muestra; preparación de la muestra; resistómetro. ....	58
Figura 45. Calibración del generador de impulsos; medición de la longitud del cubo de adobe. ....	60
Figura 46. Determinación de la masa del cubo de adobe; medición de la velocidad de pulso.....	61

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

Figura 47. Derretimiento del azufre; preparación de los cubos de adobe con cinta adhesiva.....	62
Figura 48. Colocación del azufre.....	62
Figura 49. Enfriamiento del azufre; medición de las dimensiones a cada muestra. ....	62
Figura 50. Colocación de las muestras en la máquina universal Tinius Olsen.....	63
Figura 51. Aplicación de carga en los cubos de adobe. ....	63
Figura 52. Probador de carga punto básico. ....	64
Figura 53. Determinación de dimensiones en el bloque de adobe; determinación de dimensiones de la muestra irregular. ....	65
Figura 54. Aplicación de carga puntual en la muestra 5.2; muestra fragmentada. ....	65
Figura 55. Peso del material.....	68
Figura 56. Triturado de las muestras con el mortero de Agatha.....	68
Figura 57. Muestra N° 6; aspersor de aire. ....	69
Figura 58. Medidor de pH Hanna Waterproof tester; resultados de pH.....	70
Figura 59. Medición de pH con tiras reactivas; colores estandarizados de pH. ....	70
Figura 60. Trituración del material con un mortero.....	72
Figura 61. Cuarteo de la muestra.....	72
Figura 62. Cribado de la muestra.....	73
Figura 63. Determinación del peso retenido de las mallas.....	73
Figura 64. Fórmulas utilizadas para obtener el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc).....	73
Figura 65. Copa de Casagrande para la prueba de límites de consistencia. ....	75
Figura 66. Ranurador plano. ....	75
Figura 67. Ranurador curvo. ....	76
Figura 68. Material cribado por el tamiz N°40 y saturación en agua destilada durante 24 horas. ....	77
Figura 69. Homogenización del material en cápsula de porcelana; distribución del material sobre la Copa de Casagrande.....	78
Figura 70. Ranura en la Copa de Casagrande. ....	78
Figura 71. Medición del cierre de ranura en la Copa de Casagrande. ....	79

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE  
JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

Figura 72. Obtención del límite líquido. ....	79
Figura 73. Cápsulas con material del límite líquido secado en el horno.....	79
Figura 74. Determinación del límite líquido en la curva de flujo. ....	80
Figura 75. Secado de material sobre una placa de cristal; giro del rollo de material sobre la placa de cristal; secado de los rollos de material. ....	81
Figura 76. Revisión del límite plástico. ....	82
Figura 77. Obtención del límite plástico. ....	82
Figura 78. Cápsulas con material del límite plástico. ....	82
Figura 79. Compactación del material y secado de la cápsula de contracción lineal fuera del horno. ....	84
Figura 80. Barras de contracción lineal secadas en el horno. ....	84
Figura 81. Medición de la barra de contracción lineal. ....	84
Figura 82. Compactación del material y secado de la contracción volumétrica fuera del horno. ....	85
Figura 83. Cápsulas de contracción volumétrica secas. ....	86
Figura 84. Colocación del mercurio y enrasado de la cápsula con la placa de cristal.....	86
Figura 85. Peso del mercurio desplazado por la pastilla de contracción volumétrica.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los fragmentos de roca.....	25
Tabla 2. Clasificación de los fragmentos de roca.....	26
Tabla 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.....	30
Tabla 4. Clasificación del suelo con el uso de mallas. ....	33
Tabla 5. Valores de los límites de Atterberg para minerales de arcilla.....	38
Tabla 6. Localización de las muestras de adobe.....	50
Tabla 7. Dimensiones de la copa de Casagrande.....	75
Tabla 8. Dimensiones del ranurador plano.....	76
Tabla 9. Dimensiones del ranurador curvo.....	76
Tabla 10. Datos de colorimetría obtenidos con el colorímetro CLRM-200. ....	89
Tabla 11. Resultados de humedad actual. ....	91
Tabla 12. Resistividad eléctrica para las muestras 2, 4, 5, 9, 11 y 12.....	92
Tabla 13. Velocidad de pulso ultrasónico para las muestras 2, 4, 5, 9, 11 y 12....	93
Tabla 14. Esfuerzo a compresión simple en kg/cm <sup>2</sup> y mega pascales (Mpa).....	94
Tabla 15. Esfuerzo a carga puntual en kg/cm <sup>2</sup> y mega pascales (Mpa).....	96
Tabla 16. Resultados de análisis microscópico de las muestras 1 a 3.....	98
Tabla 17. Resultados de análisis microscópico de las muestras 4 a 6.....	98
Tabla 18. Resultados de análisis microscópico de las muestras 7 a 9.....	99
Tabla 19. Resultados de análisis microscópico de las muestras 10 a 13.....	99
Tabla 20. Comparación de resultados de pH obtenidos con el medidor industrial y tiras reactivas. ....	100
Tabla 21. Resultados de granulometría de la muestra 1.....	101
Tabla 22. Resultados de granulometría de la muestra 2.....	101
Tabla 23. Resultados de granulometría de la muestra 3.....	102
Tabla 24. Resultados de granulometría de la muestra 4.....	102
Tabla 25. Resultados de granulometría de la muestra 5.....	102
Tabla 26. Resultados de granulometría de la muestra 6.....	103
Tabla 27. Resultados de granulometría de la muestra 7.....	103
Tabla 28. Resultados de granulometría de la muestra 8.....	103
Tabla 29. Resultados de granulometría de la muestra 9.....	104

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE  
JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

Tabla 30. Resultados de granulometría de la muestra 10.....	104
Tabla 31. Resultados de granulometría de la muestra 11.....	104
Tabla 32. Resultados de granulometría de la muestra 12.....	105
Tabla 33. Resultados de granulometría de la muestra 13.....	105
Tabla 34. Porcentaje de paja en cada muestra.....	105
Tabla 35. Clasificación del material utilizando los coeficientes de uniformidad y los coeficientes de curvatura. ....	107
Tabla 36. Límites de consistencia. ....	108
Tabla 37. Límites de consistencia. ....	109
Tabla 38. Resultados de límites de consistencia a los 25 golpes.....	110
Tabla 39. Resultados de límites de consistencia y clasificación con el sistema S.U.C.S. ....	111

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Carta de plasticidad. ....	32
Gráfica 2. Comparación de color entre las muestras M1 y M13 con M2-M12. ....	90
Gráfica 3. Esfuerzo a compresión simple en kg/cm <sup>2</sup> . ....	94
Gráfica 4. Esfuerzo a carga puntual en kg/cm <sup>2</sup> . ....	97
Gráfica 5. Resumen clasificación granulométrica. ....	106
Gráfica 6. Límite líquido a 25 golpes. ....	110
Gráfica 7. Clasificación del material en la carta de plasticidad. ....	111

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE  
JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo busca hacer énfasis en el conocimiento actual sobre los procesos constructivos en tierra, concretamente las viviendas de adobe, desde la perspectiva de la vulnerabilidad de estos inmuebles ante fenómenos naturales. Estos edificios, los cuales son muy importantes en el patrimonio de México, en las últimas décadas han experimentado un impactante proceso de abandono y deterioro que ocasiona la pérdida y desaparición de los mismos. En este documento se presenta una investigación que propone una actuación en forma de nueva aportación al conocimiento mediante la caracterización de materiales y las propiedades índice de los suelos. El caso de estudio fue la localidad de Jojutla de Juárez, que además de estas características sufrió grandes daños por el Terremoto de Puebla de 2017, llevando a la pérdida de muchas de sus viviendas de adobe.

### ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Desde hace miles de años, las civilizaciones antiguas han utilizado la tierra para construir, siendo un sistema constructivo presente en todos los continentes y presentando distintas formas de construcción como el adobe, tapial, cob, bahareque o bloque de tierra comprimido entre otras. En el continente americano, algunas civilizaciones ya utilizaban la tierra en elementos constructivos que eran mezclados con vegetación para incrementar su resistencia, con la conquista europea se introduce el conocimiento del adobe y el tapial para levantar nuevas ciudades, pero con el paso del tiempo, el uso del suelo en construcción de obras fue desplazado por elementos prefabricados (Phillips Bernal, Yamín Lacouture, Reyes Ortiz, & Ruiz Valencia, 2007).

Las construcciones en tierra, al momento actual, han sido abandonadas debido al uso de nuevos materiales en la rama de la construcción, así el uso de tierra ha sido relegado a países con un bajo índice de desarrollo humano contando con un

bajo interés en arquitectura vernácula. En años recientes ha resurgido gran interés por la construcción de tierra, principalmente el adobe, esto se debe a que tanto como la arquitectura y la ingeniería civil, han estudiado y comprobado las excelentes propiedades del material, que es amigable con el medio ambiente.

La definición de vulnerabilidad en edificaciones de tierra se entiende como falta de capacidad para resistir o hacer frente a catástrofes naturales o actividades humanas. En una construcción, cuando se dice que es vulnerable ante factores naturales, se refiere a la manifestación de eventos como ciclones tropicales o sismos, y a la afectación que tendrían las construcciones y la sociedad. Los factores de vulnerabilidad son bastantes, por lo tanto, tanto edificaciones recientes como edificios patrimoniales pueden tener respuestas muy variadas. Todos resultan vulnerables a peligros naturales y factores antropogénicos en años recientes, a causa de la actividad humana.

En relación a los estudios de seguridad y riesgo de construcciones vernáculas, la República Mexicana tiene muy pocos trabajos de investigación. Existe un estudio elaborado por la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual fue publicado en 1980, dicho documento es una guía de seguridad elaborada por el Instituto de Ingeniería, en el que se describen procedimientos para el análisis y revisión de construcciones con adobe. Como se puede observar es una guía bastante antigua, publicada antes del sismo más catastrófico en la historia del país (Bazán, Meli, & Padilla, 1980). En el año 2006, el Centro Nacional de Prevención de Desastres publicó una guía de evaluación de riesgo físico y social de edificaciones, este documento sólo permite comprobar la vulnerabilidad física de los edificios ante sismos o tormentas tropicales, pero no establece criterios sobre construcción en tierra. Hoy en día se cuenta con herramientas que permiten hacer un análisis sísmico con resultados precisos

Previamente a este trabajo de investigación, en otras universidades se han elaborado trabajos de tesis sobre construcción en tierra para uso patrimonial, ya que esta tecnología no ha sido estudiada al detalle en cuanto a temas como la vulnerabilidad o la sismicidad. La situación es que no existen reglamentos para el

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

diseño y especificaciones construcción en tierra, esto es un grave problema porque en zonas rurales con enorme grado de marginación aún hoy en día se utiliza la tierra como material de construcción, porque es fácil de obtener.

Es un gran problema porque se construyen sin buena aplicación técnica, se desconocen las características y propiedades mecánicas que originan problemas de deterioro de los elementos estructurales, deterioro del material acelerado y mal comportamiento durante un sismo. Esto ha motivado que muchos investigadores en la actualidad se encuentren realizando investigaciones tendentes a la redacción de normas adecuadas y relacionadas a este material. (Roux Gutiérrez & Espuna Mújica, 2012, pág. 31)

En México, existe la idiosincrasia en que las construcciones de tierra se han asociado a personas con estatus de bajos recursos, se considera como material pobre, aunque en realidad existe muy poca investigación sobre el comportamiento de los ladrillos de adobe. No obstante se ha demostrado que esta tecnología cuenta con muchos beneficios.

México no es el único país que ha utilizado el adobe como elemento de construcción artesanal, otros países han implementado algunas normas de construcción en tierra. Sin embargo, la mayoría esas normas fueron publicadas hace más de 10 años y no han sido actualizadas, cabe mencionar que dichas normas no sufren modificaciones porque en gran parte de los países donde fueron publicadas básicamente no son afectados por tormentas tropicales o sismos. Actualmente sólo en el estado de Nuevo México, en Estados Unidos, existe un Código de Construcción de Tierra (Código de Construcción Uniforme, sección 2405, Mampostería con barro no cocido). En Perú existen normas para edificar con materiales de tierra (ININVI Norma Técnica de Edificación, Norma E-080 Mortero de lodo), en Francia se han editado las normas ARS-1996, realizadas por el Instituto CRATerre-AEG en Grenoble (Roux Gutiérrez & Espuna Mújica, 2012).

## JUSTIFICACIÓN

El deterioro del patrimonio cultural en México es un problema que se ha ido incrementando con el paso de los años, por lo cual es necesario investigar la vulnerabilidad, es evidente que el país se localiza en una zona asediada por ciclones y sismos, los segundos fueron evidentes en el año 2017 provocando daños severos en áreas urbanas. Las viviendas de adobe construidas en México, en su mayoría, son altamente vulnerables debido a que el país tiene gran actividad sísmica provocada por la interacción entre la placa del Pacífico con las placas de Cocos y Norteamericana.

Existen distintos factores que intervienen en el deterioro de edificios patrimoniales, tales como el abandono de procesos constructivos tradicionales por nuevos materiales de construcción provocando oposición a la arquitectura con tierra, con la consecuencia de pérdida de técnicas constructivas. En distintas localidades del país los conocimientos de construcción con suelo son escasos o nulos, muchos edificios son restaurados a través del uso de materiales actuales que no reaccionan ante el comportamiento y características de los materiales y procedimientos tradicionales. Los edificios construidos con suelos reciben mantenimiento esporádicamente, aunado a lo anterior, el gran desarrollo de las ciudades está relacionado a movimientos migratorios de personas procedentes de zonas rurales afecta a edificios considerados patrimoniales porque se pierden técnicas de construcción y restauración.

Hoy en día, existen estudios y normativas para el diseño de edificios hechos con acero, concreto, entre otros, el problema es la nula investigación de las características de elementos manufacturados con suelo, por ejemplo los bloques de adobe (Díaz Fuentes, 2017, págs. 46-62). En general, la tierra es un material cuyas propiedades físicas, químicas y mecánicas han sido escasamente analizadas, es importante someter el material a diversos experimentos para conocer cómo se comportan ante la presencia de diversos factores. Es un problema severo el no contar con reglamentos y normas estandarizadas para los

bloques de adobe, se necesitan para la conservación de edificios patrimoniales y edificar obras sustentables.

## **OBJETIVO**

El objetivo de esta tesis de titulación para obtener el grado de ingeniero civil es conocer las características y propiedades generales de los bloques de adobe procedentes de Jojutla de Juárez, Morelos, por medio de pruebas y ensayos (colorimetría, humedad actual, resistividad eléctrica, velocidad de pulso ultrasónico, esfuerzo a compresión simple, microscopia, potencial de hidrógeno, esfuerzo a carga puntual, granulometría y límites de consistencia), de esta forma hacer una comparación con trabajos de investigación previos y los estándares establecidos por normas sobre construcciones de tierra. Además estudiar los bloques de adobe de las edificaciones dañadas por el sismo puede ayudar a comprender mejor la vulnerabilidad de las viviendas tradicionales hoy ya desaparecidas.

# **1      CAPÍTULO I. MARCO REFERENCIAL / ESTADO DEL           ARTE**

## **1.1    JOJUTLA DE JUÁREZ, ESTADO DE MORELOS**

### **1.1.1  CASO DE ESTUDIO/PROBLEMÁTICA EN JOJUTLA**

En todo México, se ha registrado la pérdida y falta de mantenimiento a las edificaciones construidas en tierra por diversas causas, siendo una situación que ha incrementado a gran escala. Las construcciones patrimoniales construidas con tierra reciben mantenimiento muy esporádicamente, también cabe señalar que por cuestiones socioculturales del país, a este tipo de construcciones siempre se les asocia con poblaciones de escasos recursos, y no se les da ningún valor económico. Aunado a esto, los elementos manufacturados con tierra nunca se analizan sus propiedades físicas debido a la inexistencia de normas de construcción, por lo tanto, las personas optan por construir con materiales industriales aprobados por alguna norma.

Los problemas mencionados anteriormente, se incrementaron en el año 2017 durante los sismos del mes de septiembre. Todo tipo de construcción en tierra es altamente vulnerable a la energía liberada por los sismos, entonces las tradiciones constructivas en adobe se están perdiendo y a causa de eso no existe interés el proceso de construcción con adobe, se presentan muchas irregularidades. Por lo tanto, las familias que habitaban en casas de adobe están utilizando otros materiales de construcción o bien haciendo alteraciones en sus viviendas tradicionales. En México, para evitar la pérdida de edificios patrimoniales y tradiciones constructivas relacionadas con el adobe, es necesario implementar conocimientos y metodologías de investigación para obtener mejor respuesta ante vulnerabilidad física de los adobes.

# CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

## 1.1.2 LOCALIZACIÓN.

El municipio de Jojutla se encuentra ubicado al noroeste del estado de Morelos y tiene una extensión territorial de 142.633 Km<sup>2</sup>, que representa 3.2% de la extensión territorial del estado. Se localiza geográficamente al norte a una latitud de 18°40'46", al sur a 18°31'13", al este a una longitud de 99°08'52" y 99°18'07" al oeste. El municipio colinda al norte con el municipio de Zacatepec, al este con Tlaltizapán, al oeste y sur con Tlaquiltenango y al oeste con Puente de Ixtla (Hacienda Morelos, 2017).

## MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

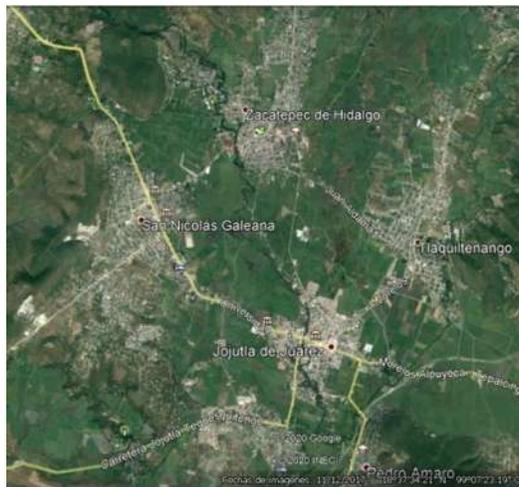


Figura 1. Macro localización de Jojutla de Juárez. (Google Earth, 2020).



Figura 2. Micro localización de Jojutla de Juárez. (Google Earth, 2020).



## 1.2 CONSTRUCCIÓN DE TIERRA/ADOBE

En la prehistoria se sabe que el ser humano tenía un comportamiento nómada, aunque la estancia en lugares era temporal, siempre buscaba la forma de satisfacer sus necesidades, para esto el hombre se protegía en cavernas o en las orillas de formaciones rocosas. Hay que mencionar que esa época el ser humano recolectaba semillas para usarlas como alimento, sin embargo, con el paso del tiempo descubrió que estas se podían cultivar, descubriendo así la agricultura. Debido a esto, se vio obligado a ser sedentario, por lo cual era muy necesario levantar casas de forma permanente para protegerse de los peligros naturales o simplemente tener un refugio, edificado con materiales procedentes directamente del entorno tales como ramas, madera, rocas y tierra.

Como el ser humano ya no tenía necesidad de trasladarse de un lugar a otro en busca de alimento, las casas construidas debían ser lo suficientemente resistentes ante fenómenos naturales. Sin embargo, las construcciones hechas únicamente de vegetación no eran muy seguras, y las de roca otorgaban gran resistencia pero no era suficiente para protegerse de las inclemencias del clima, así que comienza a utilizar la tierra como material de construcción y elaborar bloques de adobe debido a sus propiedades.

En la mayoría de los climas cálidos, áridos, tropicales y templados alrededor del mundo, la tierra se ha utilizado como material de construcción predominante, en el cual uno de los métodos más utilizados es la construcción con adobe. Hasta el día de hoy, casi un tercio de la población mundial habita en construcciones de adobe, y más de la mitad en los países en vías de desarrollo. (Minke, 2005)

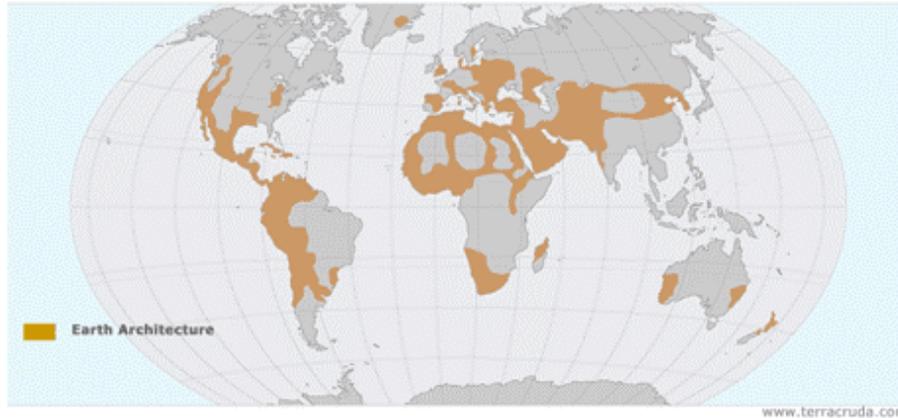


Figura 4. Distribución de las construcciones de adobe alrededor del mundo (<http://www.terracruda.com>)

No se sabe con fecha exacta la aparición de bloques de adobe como elemento constructivo en edificaciones. Se cree que este método apareció 5000 años antes de cristo, justo cuando se inició la domesticación de animales y el uso de rocas para triturar. Algunas de las construcciones más antiguas del planeta están construidas con adobe, son altamente resistentes, básicamente se encuentran en Asia, el norte de África, Sudamérica, en el sur de los Estados Unidos y en el Oeste de Europa (van der Smissen, 2011)

Se han encontrado construcciones de adobe en Turquestán, Asia Central, que datan de 8000 al 6000 a.C.; y en Asiria han sido encontrados cimientos de tierra que datan del 5000 a.C. Entre otros edificios destacan las bóvedas del templo de Ramsés II localizado en Gourná, Egipto, hecho con adobe hace más de 3000 años; en Arge Bam, Irán, algunas partes de sus edificios tienen 2500 años de antigüedad; en el valle de Draa, Marruecos, existen fortificaciones de tierra construidas durante el siglo XVIII (Minke, 2005)



Figura 5. Bóvedas del templo de Ramsés II; Arge Bam, Irán. (Overblog, 2010), (Kienyke, 2020).

Diversos asentamientos del neolítico del oriente medio ya utilizaban la tierra cruda como elemento constructivo. Entre ellas cabe citar destaca la más antigua ciudad conocida, Catal Huyuk, en la península de Anatolia, fue edificada 7 mil años antes de Cristo, tenía las casas construidas con adobes apiñados unos con otros sin dejar espacios que conformaran calles. (Garrocho López, 2017)



Figura 6. Valle del Draa, Marruecos; Ruinas de Catal Huyuk, considerada la ciudad más antigua del mundo. (Tuareg-Travel, 2020) (Mayans, 2019)

El adobe se utilizó como material de construcción en la estructura de las casas en ciudades pertenecientes a las primeras civilizaciones como Ur, Uruk, Kish, Lagash, creadas muy próximamente a cuerpos de aguas o grandes ríos donde predominan la arena y arcilla. En España edificios existen edificios tan importantes como la Alhambra de Granada, o ciudades como el centro histórico de Córdoba en Andalucía o Daroca en Aragón, los cuáles son un gran ejemplo de arquitectura vernácula. Por otra parte en el norte de África destacan, las Kashbah, que son ciudades fortalezas construidas con tapial y adobe localizadas en Marruecos; y la magnífica ciudad de Tombuctú, construida también en adobe, muy cercana al río Niger en Malí (Garrocho López, 2017).

Es necesario hacer mención que casi todas las civilizaciones antiguas utilizaron ladrillos de adobe para edificar sus viviendas, conservar sus monumentos de importancia y fortalecer las ciudades. En las siguientes figuras se muestran algunas edificaciones localizadas en diversas partes del mundo, las cuales parte de su construcción incluyen bloques de adobe:



Figura 7. Gran Mezquita de Djenné en Malí. Fotografía: Martha de Jong-Lantink; Alhambra de Granada. Fotógrafo: Nic McPhee (EAR Arquitectura de Tierra, 2015)



Figura 8. Fortaleza en Baños de la Encina, Jaén. Fotografía: Fernando López; Tulous de Hakka están situados en Chuxi, China. Fotografía: Hayden Opie (EAR Arquitectura de Tierra, 2015)



Figura 9. Shibam, Yemen. Fotografía: Najeeb Musallam. (EAR Arquitectura de Tierra, 2015)

### 1.2.1 LA ARQUITECTURA DE TIERRA

La arquitectura de tierra es todo aquel trabajo de edificación en el que se utiliza suelo natural, un suelo tratado para crear elementos constructivos que habilitan espacios, el suelo se humedece, se moldea y se seca al sol. El suelo que se utiliza en la fabricación de elementos a base de tierra son una mezcla de arena con materiales finos (limos y arcillas). Las partículas de dicha mezcla se alteran agregando aditivos para mejorar su estabilidad. El suelo es el material de construcción natural más importante y natural que abunda en la mayoría de las regiones del mundo, se obtiene directamente de la excavación donde se colocarán

los cimientos de una obra. Se sabe que en las naciones con gran industrialización la desmedida explotación de recursos naturales y sistemas de producción centralizados intensivos en capital y energía generan desperdicios así como también contaminación del medio ambiente (Revista Construye, 2020) (Minke, 2005).

### **1.2.2 CONSTRUCCIÓN CON ADOBE EN MÉXICO**

Como ya se mencionó en los apartados anteriores, el ser humano siempre buscaba la forma de satisfacer sus necesidades creando refugios que fueran lo suficientemente resistentes, las civilizaciones antiguas comenzaron a utilizar ladrillos de tierra para viviendas unas antes que otras, y los grupos que habitaban el norte de América no son la excepción.

Por casi 3000 años, Mesoamérica fue el lugar de origen de varias civilizaciones amerindias avanzadas como los olmecas, los mayas y los aztecas. Desde ese momento los seres humanos erigían sus casas con adobes. Incluso la arquitectura religiosa y monumental estaba usando adobes y otras construcciones de tierra: las pirámides de Teotihuacán fueron construidas por los mayas con adobe / tierra compactada y cubiertas con piedras volcánicas. Realmente existen muy pocos restos de edificaciones que fueron construidas hace mucho tiempo por estas civilizaciones, a excepción de la zona arqueológica de Paquimé, Chihuahua (World Heritage, 2007, pág. 1).

Las distintas culturas que existían en el continente, todas sin excepción durante cierto periodo, comenzaron a utilizar bloques de adobe para sus construcciones, evidentemente algunas los utilizaban más que otras debido al entorno en el que vivían. En la cita textual de World Heritage menciona las culturas que utilizaron el adobe como material de construcción, hay que hacer una comparación de los olmecas y mayas con la cultura Pueblo originaria de Paquimé. Es evidente que el clima, la vegetación y el suelo donde habitaban dichas culturas son muy diferentes, aunado a esto la abundancia de dichos elementos también variaba, por ejemplo gran parte del estado de Chihuahua se ubica en zonas muy áridas, la vegetación existente no es apta para la construcción de refugios resistentes como material principal, entonces se utilizaron ladrillos de tierra en la construcción de la ciudad de Paquimé para favorecer sus necesidades.



Figura 10. Zona arqueológica de Paquimé en Casas Grandes, Chihuahua. (INAH Chihuahua, 2020), (México Desconocido, 2017)

La zona de Paquimé en Casas Grandes, Chihuahua era muy importante en relaciones comerciales entre la civilización Pueblo, originaria del sur de Estados Unidos y norte de México, y las civilizaciones más destacadas de lo que fue Mesoamérica. Existe una enorme cantidad de restos o vestigios, no todos han sido excavados, son testimonios que describen perfectamente a una civilización plenamente integrada en el ambiente físico y económico. Este asentamiento prehispánico contaba con viviendas de varios niveles totalmente construidas con tierra, cuyo estado de conservación ha permitido conocer muchos datos acerca de la forma de vida y adaptación de la sociedad que la habitó entre los siglos diez y quince de nuestra era. No obstante, los Pueblo y otras civilizaciones similares fueron desapareciendo paulatinamente con la llegada de los conquistadores españoles (Guerrero Baca, 2007).

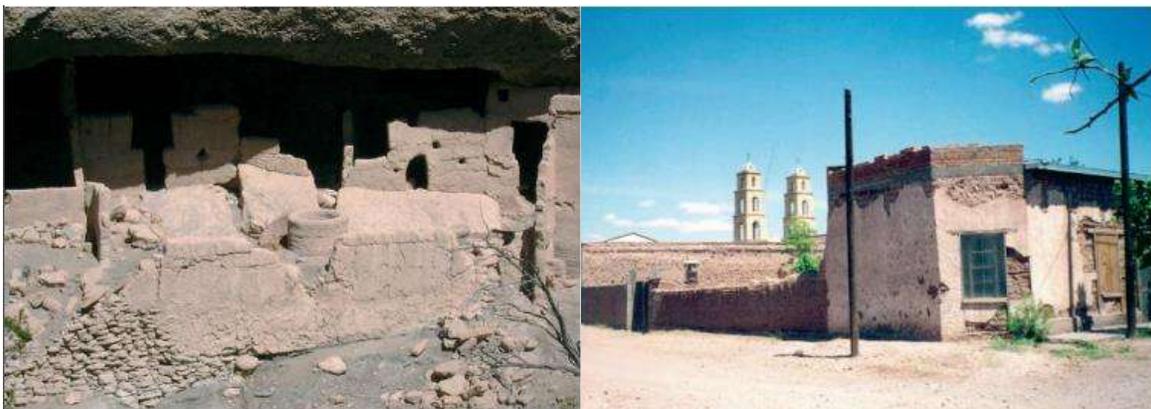


Figura 11. Casas acantilado con más de quinientos años de antigüedad en Sirupa, Chihuahua; abandono y alteración de la arquitectura tradicional de Casas Grandes, Chihuahua. (Guerrero Baca, 2007)

A principios del siglo XVI, las civilizaciones nativas de lo que ahora es México fueron invadidas por el Imperio Español. Como ya se ha mencionado anteriormente las técnicas de construcción en tierra, especialmente la del adobe, ha estado presente en casi todos los continentes del planeta (ver figura 4). Cuando los colonos españoles llegaron al continente americano, estos trajeron sus propias costumbres y tradiciones, entre ellas técnicas constructivas. La unión de los conocimientos de culturas prehispánicas con las técnicas originarias del viejo continente durante la época colonial era inevitable, esto generó una enorme variedad de edificaciones en la que haciendas, templos, conventos, palacios, edificios de gobierno, presidios y la mayor parte de la arquitectura doméstica, conformaron un valioso patrimonio cultural. Los españoles, en búsqueda de riquezas, desarrollaron muchos asentamientos a lo largo de un camino que va de la Ciudad de México a Santa Fe en lo que hoy es Estados Unidos. Estos caminos fueron nombrados Camino Real o "Ruta de plata" y la mayoría de los asentamientos creados a lo largo de esta ruta fueron construidos con adobes. Además, debido a la adecuación de estas obras a su medio físico, conservaron su vigencia después de siglos de su edificación, gracias a la pervivencia de la cultura constructiva transmitida a través de la tradición (World Heritage, 2007), (Guerrero Baca, 2007).



Figura 12. Templo y hacienda la Goma, Durango. (Vargas Garza, 2014), (World Heritage, 2007)

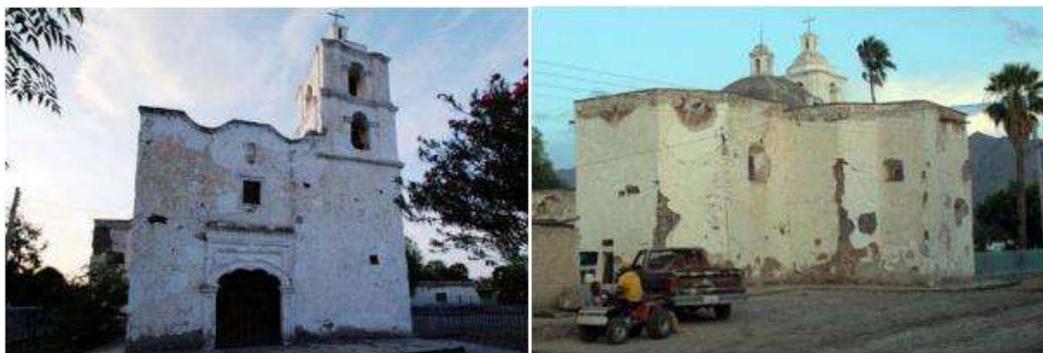


Figura 13. Iglesia de Santa Ana de Hornos, Coahuila. (World Heritage, 2007)



Figura 14. Pátzcuaro, Michoacán. (Visit México, 2020), (La Voz de Michoacán, 2018)

### **Definición de adobe**

El adobe es un elemento de mampostería artesanal muy simple, compuesto por tierra (arena con limos o arcillas), agua, materia vegetal que normalmente es paja, aditivos naturales (mucilago de cactáceas y de otras plantas, resina, estiércol, etc.) y estabilizantes (yeso, cal, entre otros). Es bastante fácil de fabricar, se extrae el material de un banco cercano a la zona de construcción, luego se combina con paja y agua hasta lograr una mezcla uniforme y que se pueda moldear. Al final, la mezcla de los materiales se coloca en moldes de madera para crear las piezas de adobe y posteriormente se dejan secar al sol. Como todo tipo de material de construcción, las construcciones de tierra, incluyendo el adobe, tienen ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Material de bajo costo y fácil de obtener.
- La construcción en tierra funciona como aislante térmico.
- La construcción en tierra funciona como aislante sonoro.
- Son materiales de bajo impacto ambiental.
- La construcción en tierra presenta resistencia al fuego.
- Cuando la edificación ha cumplido su vida útil, el material se reintegra al medio natural.
- Como es un material muy fácil de manipular, se pueden realizar proyectos de autoconstrucción.

Desventajas:

- La tierra no es un material de construcción estandarizado debido a que las características son diferentes entre un sitio y otro.
- Las construcciones en tierra presentan un mal comportamiento estructural ante los sismos.
- La tierra es un material permeable, por lo tanto el edificio se sustenta sobre cimientos de piedra o algún elemento que impida el paso del agua, en cuanto a los muros de mampostería se protegen con capas de cal o mucilago vegetal.
- La tierra se agrieta en estado seco, esto puede resultar problemático cuando la mezcla contiene grandes cantidades de arcilla altamente plástica (material fino que se contrae demasiado).
- Limitación en altura, debido a su baja resistencia las edificaciones se construyen con un solo nivel.

## **1.3 SUELOS**

### **1.3.1 DEFINICIÓN**

En el área de estudio de la mecánica de suelos, existen muchas definiciones sobre el término de suelo, la definición desde el punto de la ingeniería civil dice que el suelo es la superficie o el estrato físico donde se desplanta una edificación y cimentaciones estructurales, el cual es un conjunto de partículas minerales obtenido por el desgaste físico y químico de las rocas. El término suelo varía de acuerdo al punto de vista de análisis, ya sea de un geólogo, ingeniero civil o un ingeniero agrónomo.

Antes de hablar a detalle sobre los suelos, se debe conocer un poco como está formado el planeta tierra, dicho conocimiento es el resultado de numerosos estudios científicos, en su mayoría basados en la propagación de las ondas sísmicas a través del propio material terrestre. De esta manera ha sido posible determinar su composición y dividirla en varias capas concéntricas (Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, 2020) (Tarbuck, Lutgens, & Tasa, 2005) (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2017):

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

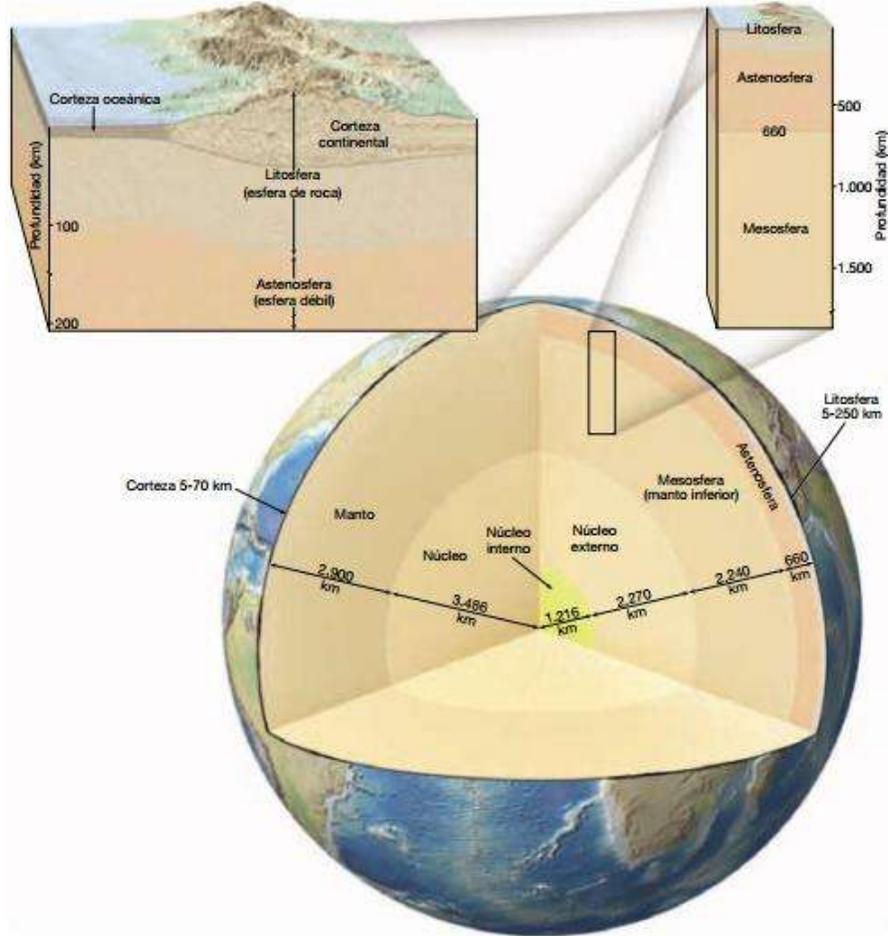


Figura 15. Estructura interna de la tierra. (Tarbuck, Lutgens, & Tasa, 2005)

- **Corteza:** Esta capa inicia en la superficie, la cual está constituida por grandes masas con depresiones ocupadas por mares y océanos, generalmente se divide en corteza oceánica y corteza continental. El espesor la corteza oceánica no sobrepasa los 10 kilómetros grosor y está conformada por rocas ígneas oscuras denominadas basaltos. Por el contrario, la corteza continental tiene un espesor de 35 kilómetros, pero puede superar los 70 kilómetros en algunas regiones montañosas. A diferencia de la corteza oceánica, que tiene una composición química relativamente homogénea, la composición de la corteza continental es heterogénea. Resulta evidente que el espesor puede variar, en las cadenas montañosas es mayor mientras que en los océanos se reduce.

- Manto: Esta capa parte desde la parte inferior de la corteza hasta 2900 kilómetros de grosor, su estado oscila entre sólido y plástico a causa de las condiciones de temperatura y presión, cabe destacar que el manto ocupa más del 82 % del volumen de la Tierra. El manto se divide en superior (litosfera y astenosfera) e inferior (mesosfera):
  - Litosfera: La palabra litosfera significa “esfera de roca”, es la capa más sólida y tiene un grosor aproximadamente de 100 kilómetros pero puede alcanzar 250 kilómetros de grosor. Dentro de las cuencas oceánicas, la litosfera tiene un grosor de tan sólo unos 65 kilómetros debajo de las dorsales oceánicas pero aumenta hasta quizá 100 kilómetros en regiones donde hay corteza más antigua y fría.
  - Astenosfera: Su nombre significa “esfera débil”, se encuentra entre unos 100 y 200 kilómetros por debajo de la superficie terrestre y tiene un espesor de unos 600 kilómetros. Situada entre la litosfera y la mesosfera está formada por roca dúctil y ligeramente líquida. Sobre ésta capa se desplazan las capas tectónicas.
  - Mesosfera: Este término significa “esfera media”, se localiza entre 660 kilómetros y 2.900 kilómetros de profundidad. Está compuesta por material sólido y envuelve al núcleo. A pesar de su resistencia, las rocas de la mesosfera están todavía muy calientes y son capaces de fluir de una manera muy gradual.
- Núcleo: Esta formado principalmente por compuestos de hierro y níquel, con pocas cantidades de oxígeno, silicio y azufre. Se divide en núcleo externo e interno, cada uno muestra características mecánicas diferentes:

- Núcleo Externo: Su espesor es de unos 2300 km, comprendidos entre los 2900 y los 5200 km de profundidad. Con base en datos sismológicos se ha podido inferir que es una capa líquida. Esto se puede deber a condiciones de temperatura elevada.
- Núcleo Interno: Éste es el centro de la Tierra; su diámetro es de 2340 km. Según se ha calculado, el material de este es más resistente que el del núcleo externo (debido a la presión), por lo tanto se encuentra en estado sólido.

### **1.3.2 ORIGEN Y FORMACIÓN DEL SUELO**

El suelo es el material generado por la descomposición de los macizos rocosos y fragmentos de roca en piezas más pequeñas debido a la acción aire y agua, así como de diversos agentes mecánicos y químicos.

A continuación se describen a gran detalle los agentes generadores del suelo, los suelos residuales y suelos transportados (M. Das, 2002) (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2017) (Crespo Villalaz, 2004), (Berry & Reid, 1993):

#### **1.3.2.1 AGENTES GENERADORES DEL SUELO**

##### **DESCOMPOSICIÓN MECÁNICA**

Este término se refiere a la intemperización de las rocas por medios físicos, es decir, cambios de temperatura, congelación del agua en las juntas y grietas de las rocas, efectos de organismos, plantas, etc. Como consecuencia de estos fenómenos en las rocas, se forman arenas, limos y arcillas en casos especiales

## DESCOMPOSICIÓN QUÍMICA

Por descomposición química se entiende la acción de agentes que atacan las rocas modificando su constitución mineralógica o química, siendo el principal agente el agua, y los mecanismos de ataque más importantes son la oxidación, hidratación y carbonatación, los cuales se describen a continuación:

- La oxidación es la reacción química que puede ocurrir en las rocas al recibir el agua de lluvia, ya que el oxígeno del aire, en presencia de humedad, reacciona químicamente produciéndose el fenómeno de oxidación, principalmente si las rocas contienen hierro, como se puede observar por el color pardo rojizo de algunas afloraciones.
- La carbonatación es el ataque que el ácido carbónico [anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ )] efectúa sobre las rocas que contienen hierro, calcio, magnesio, sodio o potasio. Así, las rocas ígneas, que en su mayoría contienen dichos elementos, pueden ser descompuestas de esa manera. Como ejemplo de este ataque se puede mencionar la carbonatación de la ortoclasa (feldespato potásico perteneciente a las rocas ígneas extrusivas y generalmente de color rosado) con la producción de la arcilla denominada caolinita. Las calizas son muy atacables por el ácido carbónico, formándoles cavernas por disolución.
- La hidratación es la acción y efecto de combinar un cuerpo con agua para formar hidratos, o sea compuestos químicos que contienen agua en combinación. El agua se absorbe y se combina químicamente formando nuevos minerales.

### 1.3.2.2 SUELOS RESIDUALES

Los suelos residuales son los que se han formado absolutamente por la desintegración en el mismo sitio y siempre han permanecido en posición original. Existen dos conceptos que juegan un papel muy importante:

- Perfil de meteorización. Es la secuencia de materiales con diferentes propiedades, que se ha formado en el lugar donde se le encuentra y que

sobreyace a la roca no meteorizada.

- Estructuras heredadas. Consisten en diaclasas, exfoliaciones, juntas, grietas, fallas y otros defectos estructurales que muestra el suelo como herencia de los que tenía la roca original.

### 1.3.2.3 SUELOS TRANSPORTADOS

Estos suelos han sido movidos de su lugar de origen y colocados en otro sitio por distintos agentes de transporte como el agua, viento y hielo. Los agentes de transporte de un suelo se dividen en las siguientes categorías:

- Aluviales o fluviales: depositados por agua en movimiento.
- Glaciales: depositados por acción glaciaria.
- Eólicos: depositados por acción del viento.

El tamaño y la forma de las partículas en un depósito de suelo transportado con frecuencia están determinados por el agente de transporte y el modo como se forman los suelos.

#### Depósitos

- Depósitos de laderas. El material cambia de lugar debido a la combinación del escurrimiento y fuerzas gravitacionales, se deposita en las faldas de las elevaciones, principalmente están conformados por materiales heterogéneos
- Depósitos de torrentes. Este tipo de depósito consiste en que el material pétreo es removido por el agua de un río, estos materiales tienen diversas graduaciones y se esparcen gradualmente a través del cauce según varíe la velocidad de su curso, al ir disminuyendo la velocidad, el acarreo se hace menor y primero se depositan los materiales gruesos. Así, los finos (limos y arcillas) son transportados y caen en depósitos muy cercanos a la desembocadura.
- Depósitos lacustres. Generalmente, son de grano fino a causa de la pequeña velocidad con que las aguas fluyen en los lagos.
- Depósitos marinos. Como su nombre lo dice, se forman en el mar, y suelen

ser estratificados reflejando las características de las costas que los mares bañen.

- Depósitos glaciares. Estos se forman por suelos heterogéneos, abarcan grandes bloques hasta materiales muy finos. El origen de estos es a causa de la gran presión ejercida por los bloques de hielo y abrasión por el movimiento de los glaciares.
- Vientos. El viento puede arrastrar partículas de material que pueden variar desde limos y arcillas hasta el material grueso el material se deposita a muchos kilómetros de su lugar de origen. Existen dos tipos principales de suelo formados por la acción del viento: loess, es una mezcla uniforme de arenas finas cuarzosas, feldespáticas y limos, estructurado en forma abierta y algo cohesiva; y médanos, son aglomeraciones de arena suelta, que fue arrastrada por el viento a poca altura y que se vio detenida por algún obstáculo natural de la superficie del terreno.

### **1.3.3 CLASIFICACIÓN DEL SUELO**

En la ingeniería civil es muy importante clasificar el material que se utiliza en la construcción de edificaciones. Esos materiales se clasifican en fragmentos de roca o suelos a través de pruebas índices, las cuales permiten estimar algunas de las propiedades físicas y mecánicas del material y, con base en éstas, determinar su tipo de acuerdo con un sistema de clasificación de fragmentos de roca y suelos.

Desde que inició la mecánica de suelos, el conocimiento de los suelos era escaso, solo se tenía conocimientos descriptivos, surgieron varios métodos de análisis entre los cuales destacaban las características granulométricas. Los suelos, en cualquier lugar, suelen ser complejos y variados en el entorno natural por lo que se debe analizar cuál es la mejor forma de clasificar el material. Es un hecho que desde el inicio de esta ciencia, los estudios y conocimientos de materiales eran pocos, sólo era posible estudiar un suelo describiendo sus características físicas, comenzaron a surgir varios métodos de estudio, entre ellos el análisis granulométrico de partículas. Un sistema de clasificación que cubra las

necesidades correspondientes debe estar basado en las propiedades mecánicas de los suelos, dichas propiedades son fundamentales en las aplicaciones de ingeniería civil (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2017).

Las características físicas y la apariencia de un suelo granular dependen principalmente de la distribución del tamaño de las partículas en el depósito de suelo. En un suelo arcilloso ellas dependen de la adherencia del tipo stiction y la plasticidad, propiedades que están asociadas con su composición mineralógica y su contenido de humedad, y también de su textura natural o macro estructura. Por tanto, la fracción granular de un depósito de suelo se clasifica de acuerdo con su distribución de tamaño de las partículas, en tanto que la fracción arcillosa se clasifica de acuerdo con sus características de plasticidad con los parámetros conocidos como límites de Atterberg (Berry & Reid, 1993, pág. 34).

#### 1.3.4 CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS

Una forma de clasificar el suelo es mediante el tamaño de partículas. Como se ha mencionado anteriormente, los suelos son materiales producto de la descomposición de los macizos rocosos en fragmentos de roca, gravas, arenas y finos. Primero que nada antes de analizar la clasificación de las gravas y arenas, es necesario saber que los fragmentos de roca son todos aquellos cuyo tamaño está comprendido entre 7.5 cm (3") y 200 cm. Una clasificación primaria que se les da a los fragmentos de roca son las características físicas y el tamaño de los fragmentos como se muestra en las tablas 1 y 2 respectivamente.

<b>Forma</b>	Redondeada
	Subredondeada
	Angulosa
	Lajeada
	Acicular
<b>Textura</b>	Lisa
	Rugosa
	Muy rugosa
<b>Grado de alteración</b>	Sanos
	Alterados
	Muy alterados

Tabla 1. Clasificación de los fragmentos de roca. (Manual de Mecánica de Suelos I, 2008).

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

Tipo	Subtipos	Identificación	Símbolo de grupo
Fragmentos de roca (tamaños mayores de 7.5cm y menores de 2 m)	Grandes (mayores de 75 cm y Menores de 2 m)	Fragmentos grandes, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.	Fg
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.	Fgm
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos, predominando los grandes, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.	Fgc
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos medianos y chicos, predominando los grandes sobre los medianos y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo.	Fgmc
		Fragmentos grandes mezclados con fragmentos chicos y medianos, predominando los grandes sobre los chicos y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo.	Fgcm
	Medianos (mayores de 20 cm y Menores de 75 cm)	Fragmentos medianos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.	Fm
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes, predominando los medianos sobre los grandes, con menos del 10% de fragmentos chicos o de suelo.	Fmg
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos, predominando los medianos sobre los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.	Fmc
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos grandes y chicos, predominando los medianos sobre los grandes y éstos sobre los chicos, con menos del 10% de suelo	Fmgc
		Fragmentos medianos mezclados con fragmentos chicos y grandes, predominando los medianos sobre los chicos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo	Fmcg
	Chicos (mayores de 7.5cm y Menores de 20 cm)	Fragmentos chicos, con menos del 10% de otros fragmentos o de suelo.	Fc
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos medianos o de suelo.	Fcg
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos, predominando los chicos, con menos del 10% de fragmentos grandes o de suelo.	Fcm
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos grandes y medianos, predominando los chicos sobre los grandes y éstos sobre los medianos, con menos del 10% de suelo	Fcgm
		Fragmentos chicos mezclados con fragmentos medianos y grandes, predominando los chicos sobre los medianos y éstos sobre los grandes, con menos del 10% de suelo	Fcmg

Tabla 2. Clasificación de los fragmentos de roca. (Manual de Mecánica de Suelos I, 2008).

El tamaño de las partículas de un suelo generalmente varía en un amplio rango sin considerar el origen del suelo. Un suelo generalmente es llamado grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño de partículas que más se manifiesta. Para describir y clasificar un suelo de forma adecuada existen diversas organizaciones que desarrollaron límites del tamaño del suelo separado, dichas organizaciones son las siguientes (M. Das, 2002):

- Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT).
- Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

- Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (AASHTO).
- Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos.
- Oficina de Restauración de Estados Unidos.

No obstante, en la actualidad existe el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).

La distribución de tamaños de las partículas en una masa de suelo se representa usualmente con la curva de gradación o la curva de distribución de tamaños de las partículas, en la cual el porcentaje de partículas inferiores a un tamaño en particular se representa en función de ese tamaño en escala logarítmica.

La curva de gradación se obtiene midiendo la distribución de tamaño de las partículas de una muestra de suelo representativa; en arenas y gravas esto puede hacerse con un análisis por tamizado y con un análisis por sedimentación para la fracción limosa (Berry & Reid, 1993, pág. 34).

### **1.3.5 SISTEMA UNIVERSAL DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)**

Antes de este método, en la década de los años cuarenta, se estableció un método de clasificación llamado “Fundamentos del sistema de Clasificación de Aeropuertos”, años más tarde sufrió modificaciones y adaptaciones más generales dando lugar al sistema S.U.C.S., propuesto por el ingeniero Arthur Casagrande.

Este sistema clasifica a los suelos en gruesos (gravas y arenas) y delgados, poniendo como límite la malla o tamiz N° 200, es decir, el tamaño de la fracción fina es menor que la abertura de la malla mencionada anteriormente. Los suelos gruesos reciben esa clasificación cuando más del 50% de la muestra es retenido en la malla N° 200, y si más del 50% de las partículas pasan la malla es un suelo fino.

#### **1.3.5.1 SUELOS GRUESOS**

Dentro de los suelos gruesos se tienen las gravas (G) y las arenas (S), un suelo se clasifica como grava cuando el 50% de la muestra quede retenido en el tamiz o

malla N° 4, y si el 50% del material pasa la malla mencionada anteriormente, se le asigna la clasificación de arena.

La grava se identifica con el símbolo G (Gravel), son fragmentos de rocas mezclados ocasionalmente con partículas de cuarzo, feldespato y otros minerales; y la arena con el símbolo S (Sand), sus partículas están compuestas principalmente de cuarzo y feldespatos, aunque también están presentes, a veces, otros granos minerales.

Ambas a la vez se subdividen en 8 subgrupos, los primeros 4 pertenecen al sistema S.U.C.S. y el resto al sistema AASHTO (Manual de Mecánica de Suelos I, 2008), (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2017), (M. Das, 2002):

- Grupo GW o SW. Se dice que la grava o arena es considerada bien graduada (GW o SW) cuando el material contiene muy poca cantidad de finos, es decir, menos del 5%. En las gravas si el coeficiente de uniformidad (Cu) es mayor de 4 y el coeficiente de curvatura (Cc) se encuentra entre 1 y 3, se clasifica como grava bien graduada. En el caso de las arenas, se consideran bien graduadas cuando el coeficiente de uniformidad es mayor que 6 y el coeficiente de curvatura esta entre 1 y 3.
- Grupo GP o SP. En este grupo las gravas y las arenas se consideran mal graduadas (GP o SP) cuando parecen predominara en tamaño, pero el porcentaje de partículas finas excede el 5%, y los límites del coeficiente de uniformidad y del coeficiente de curvatura no cumplen con las rangos mencionados anteriormente para que se el material se considere como bien graduado.
- Grupo GM o SM. En estos grupos, el material se clasifica como grava limosa o arena limosa cuando el material sometido a granulometría contiene una cantidad de finos mayor al 12%, y estos son limos. La plasticidad de los finos puede variar entre nula y media, esto significa que los límites de plasticidad deben localizar el porcentaje que pase la malla N° 40 justo por debajo de la línea A de la carta de plasticidad, o mejor dicho el índice plástico debe ser menor que 4.

- Grupo GC o SC. En estos grupos, el material se clasifica como grava arcillosa o arena arcillosa cuando el material sometido a granulometría contiene una cantidad de finos mayor al 12%, y estos son arcillas. La plasticidad de los finos puede variar entre media y alta, esto significa que los límites de plasticidad deben colocar el porcentaje que pase la malla N° 40 justo por encima de la línea A de la carta de plasticidad, aquí el índice plástico debe ser mayor que 7.
- Grupo GW-GM o SW-SM. Si el material es bien graduado y las partículas finas son limos en porcentaje del 5% al 12%, se clasifica como una grava o arena bien graduada limosa.
- Grupo GP-GM o SP-SM. Si el material es mal graduado y las partículas finas son limos en porcentaje del 5% al 12%, se clasifica como una grava o arena mal graduada limosa.
- Grupo GW-GC o SW-SC. Si el material es bien graduado y las partículas finas son arcillas en porcentaje del 5% al 12%, se clasifica como una grava o arena bien graduada arcillosa.
- Grupo GP-GC o SP-SC. Si el material es mal graduado y las partículas finas son arcilla en porcentaje del 5% al 12%, se clasifica como una grava o arena mal graduada arcillosa.

### **Simbología para suelos gruesos**

G = grava (en inglés, gravel).

S = arena (en inglés, sand).

W = bien graduado (en inglés, well graded).

P = mal graduado (en inglés, poorly graded).

# CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

DIVISIÓN MAYOR		<b>SÍMBOLO</b>	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
<b>SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS</b> Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4  Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4  PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE ½ cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
		GRAVAS CON FINOS Cantidad apreciable de	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	
		* d	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	
		u	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla	
		ARENAS LIMPIAS Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	
		ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.	
		* d	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	
		u	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	
		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$			
		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.			
LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.		Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.			
LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		de símbolos dobles.			
Cu = D <sub>60</sub> / D <sub>10</sub> mayor de 6 ; Cc = (D <sub>30</sub> ) <sup>2</sup> / (D <sub>10</sub> )(D <sub>60</sub> ) entre 1 y 3.					
No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW					
LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.		Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles.			
LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.		de símbolos dobles.			
<b>SUELOS DE PARTICULAS FINAS</b> Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @  Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla N° 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad	
		CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.		
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
		MH	Limos orgánicos, limos micáceos o diatomeos, más elásticos.		
	<b>LIMOS Y ARCILLAS</b> Límite Líquido Mayor de 50	CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas		
		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.		
		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		P		Turbas y otros suelos altamente orgánicos.

**CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)**

Tabla 3. Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (Manual de Mecánica de Suelos I, 2008).

### 1.3.5.2 SUELOS FINOS

Un suelo se considerado fino de acuerdo a su granulometría, no obstante tiene dos clasificaciones:

Los limos son fracciones microscópicas de suelo que consisten en granos muy finos de cuarzo y algunas partículas en forma de escamas (hojuelas) que son fragmentos de minerales micáceos. Las arcillas son principalmente partículas sub microscópicas entre 0.002 y 0.005 mm con forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales (M. Das, 2002).

El sistema S.U.C.S. también agrupa a los suelos finos con criterios similares al de suelos gruesos, por lo cual se clasifican según sus características de plasticidad, en cuatro grupos (Manual de Mecánica de Suelos I, 2008), (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2017):

- Limo (ML o MH). Un suelo recibe la clasificación de limo cuando el límite líquido y el índice plástico definen un punto en la zona I (ML) o en la zona III (MH) de la carta de plasticidad. Se clasifica como limo de baja compresibilidad cuando dicho punto es localizado en la zona I, en el caso contrario si el punto está dentro de la zona III, es un limo de alta compresibilidad. El grupo ML abarca la zona bajo la Línea A, definido por  $LL < 50\%$  y la porción sobre la línea A con  $I_p < 4\%$ . El grupo MH corresponde a la zona debajo de la línea A, definida por  $LL > 50\%$ .
- Arcilla (CL o CH). Un suelo fino se clasifica como arcilla cuando el límite líquido y el índice plástico definen un punto en la zona II (CL) o en la zona IV (CH) de la carta de plasticidad. Se clasifica como arcilla de baja compresibilidad cuando dicho punto está ubicado en la zona IV, y se clasifica como arcilla de alta compresibilidad. El grupo CL comprende a la zona sobre la Línea A, definida por  $LL < 50\%$  e  $I_p > 7\%$ . El grupo CH corresponde a la zona arriba de la Línea A, definida  $LL > 50\%$
- Orgánicos (OL u OH). En algunas ocasiones se puede apreciar cierta cantidad apreciable de materia orgánica en la muestra, debido a esto el punto definido por el límite líquido y el índice plástico es localizado muy cerca por debajo de la línea A, el material se clasifica como orgánico de baja compresibilidad (OL) si el límite líquido es menor del 50%, en el caso contrario se le asigna la clasificación de orgánico de alta compresibilidad (OH) siendo el límite líquido mayor al 50%. Las zonas correspondientes a estos grupos son las mismas de los ML y MH.
- Altamente orgánicos (Pt). El suelo se clasifica como altamente orgánico cuando se identifica por su color, olor, sensación esponjosa y

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

frecuentemente por su textura fibrosa; se le denomina turba y se identifica con el símbolo Pt. Son suelos usualmente fibrosos, como lo son las turbas y pantanos.

### Simbología para suelos finos

C = arcilla (en inglés, clay).

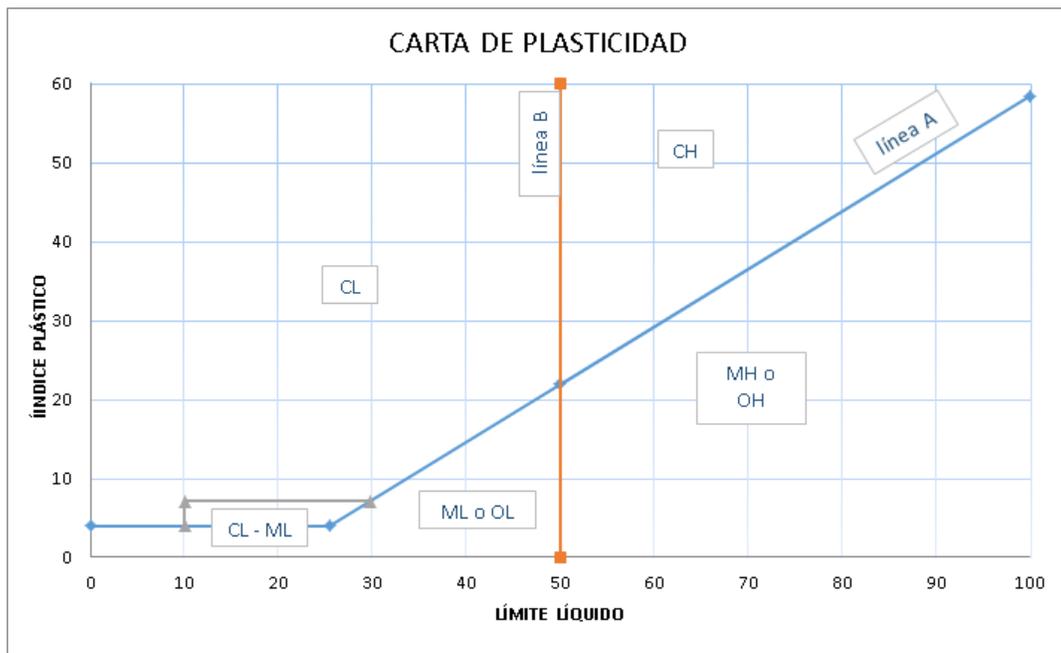
M = limo (en sueco, mo, mjala; en inglés, mud, silt).

O = orgánico (en inglés, organic).

H = alta compresibilidad (en inglés, high compressibility).

L = baja compresibilidad (en inglés, low compressibility).

Pt = turba (en inglés, peat).



Gráfica 1. Carta de plasticidad.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

Fracción		Malla	
		Designación	Abertura nominal (mm)
Suelos gruesos	Grava	3"	75
		2"	50
		1 1/2"	37.5
		1"	25
		3/4"	19
		1/2"	12.5
		3/8"	9.5
		1/4"	6.3
	Arena	N°4	4.75
		N°10	2
		N°20	0.85
		N°40	0.425
		N°60	0.25
		N°100	0.15
		N°200	0.075
Suelos finos	Partículas que pasan la malla N° 200: CH, CL, MH, ML y Pt		

Tabla 4. Clasificación del suelo con el uso de mallas.

### 1.3.6 CONSISTENCIA DEL SUELO

En algunas ocasiones pueden existir minerales de arcilla en suelos finos, el suelo puede ser remodelado ante la presencia de humedad sin disgregarse. La naturaleza cohesiva se debe al agua absorbida que rodea a las partículas de arcilla. El científico sueco Albert Mauritz Atterberg desarrollo un método a principios de 1900 para conocer la consistencia de suelos finos en presencia de contenidos de agua distintos. El suelo se comporta como sólido débil cuando el contenido de agua es bajo; si el contenido de agua es alto, el suelo se comporta como líquido. Por consiguiente, el suelo fino se clasifica en cuatro estados básicos: líquido, plástico, semisólido y sólido.

El contenido de agua, en porcentaje, en el que la transición de estado sólido a semisólido tiene lugar, se define como el límite de contracción. El contenido de agua en el punto de transición de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido. Esos límites se conocen también como límites de Atterberg (M. Das, 2002, pág. 27).

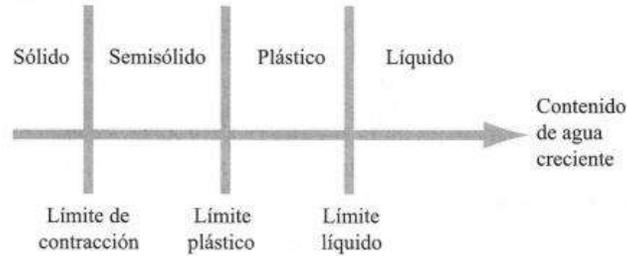


Figura 16. Límites de Atterberg (M. Das, 2002).

### 1.3.7 PLASTICIDAD

Una de las propiedades que se toman en cuenta para la clasificación de los materiales es la plasticidad. La plasticidad es la propiedad de un suelo que permite tener deformaciones hasta cierto límite, sin disgregarse, sin rebote elástico y sin cambios volumétricos. A través de ella se puede conocer el comportamiento del material en distintas épocas del año. Es necesario utilizar los límites de Atterberg para conocer la plasticidad del suelo, por medio de ellos están separados los cuatro estados de consistencia: sólido, semisólido, plástico y líquido (Crespo Villalaz, 2004), (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2017).

1. Estado líquido: los suelos presentan las propiedades y características de una suspensión.
2. Estado semilíquido: los suelos presentan las propiedades de un fluido viscoso.
3. Estado plástico: el suelo presenta un comportamiento plástico.
4. Estado semisólido: en el que los suelos tienen el aspecto de un sólido; pero al secarse disminuye su volumen.
5. Estado sólido: el volumen de los sólidos no varía cuando se les somete a secado.

Las fronteras entre los estados de consistencia mencionados anteriormente, fueron establecidas por Atterberg bajo el nombre general de límites de consistencia, los cuales se describen a continuación:

- LL Límite Líquido: frontera superior entre el estado plástico y el semilíquido.

- LP Límite Plástico: frontera inferior entre el estado plástico y el semisólido.
- LC Limite de contracción: frontera entre los estados semisólido y sólido.

### 1.3.8 ESTADOS DE CONSISTENCIA DEL SUELO

#### 1.3.8.1 LÍMITE LÍQUIDO

El límite líquido es el contenido de humedad expresado en porcentaje respecto al peso seco de la muestra, el suelo cambia de estado líquido a plástico. Los suelos plásticos en el límite líquido tienen una resistencia pequeña al esfuerzo de corte, es de  $25 \text{ gr/cm}^3$  según Atterberg, y su cohesión es casi nula (Crespo Villalaz, 2004).

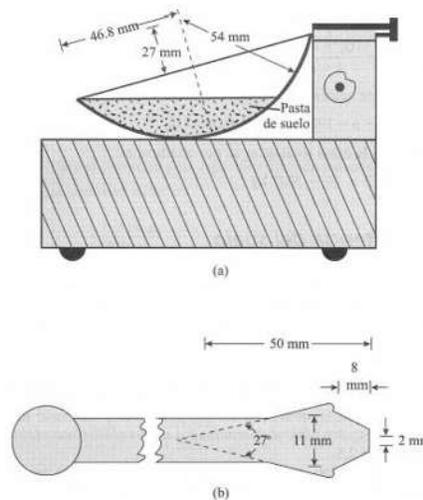


Figura 17. Prueba de límite líquido: (a) dispositivo para la prueba (copa de Casagrande); (b) ranurador (M. Das, 2002).

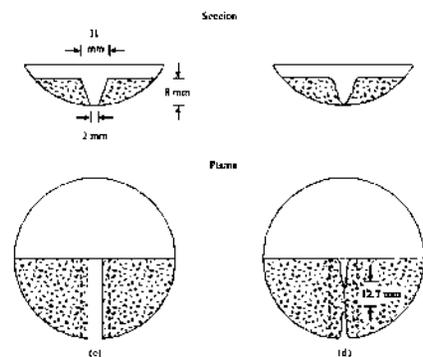


Figura 18. Prueba de límite líquido: (c) pasta de suelo antes de la prueba; (d) pasta de suelo después de la prueba (M. Das, 2002).

### 1.3.8.2 LÍMITE PLÁSTICO

El límite plástico es el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco del material secado en el horno, en el que los suelos pasan de un estado semisólido a estado plástico (Crespo Villalaz, 2004).

### 1.3.8.3 LÍMITE DE CONTRACCIÓN

Se define como el contenido de humedad en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, en este la reducción del contenido de agua no genera cambios en el volumen del material.

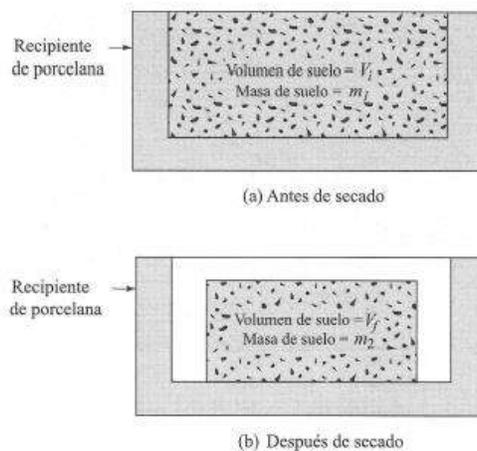


Figura 19. Límite de contracción (M. Das, 2002).

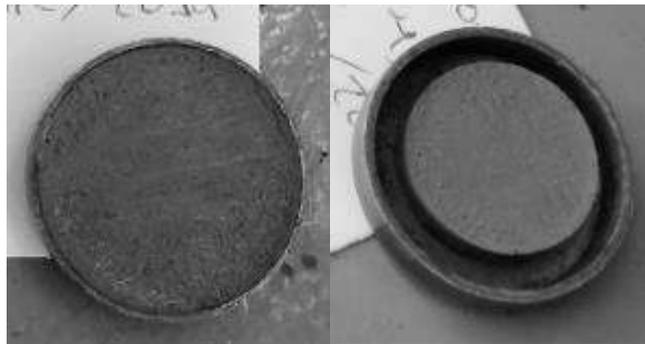


Figura 20. Límite de contracción de la muestra 1, ensayo 4.

### 1.3.9 ARCILLAS

Las arcillas son partículas sub microscópicas en forma de escamas de mica, minerales arcillosos y otros minerales. Estas partículas tienen un diámetro menor de 0.002 mm a 0.005mm, y su masa se vuelve plástica al entrar en contacto con el agua. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o magnesio hidratados. La estructura de estos minerales es, generalmente, cristalina y complicada, y sus átomos están dispuestos en forma laminar. Existen dos tipos de láminas: el tipo silícico y el otro del tipo alumínico (Crespo Villalaz, 2004), (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2017), (M. Das, 2002).

Láminas silícicas. Están formadas por un átomo de silicio, rodeado de cuatro átomos de oxígeno, acomodándose en forma de tetraedro.

Láminas alumínicas. Están formadas por retículas de octaedros dispuestos con un átomo de aluminio al centro y seis de oxígeno alrededor.

#### 1.3.9.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ARCILLAS

Las arcillas se clasifican en tres grandes grupos de acuerdo con su estructura o arreglo reticular (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2017), (Crespo Villalaz, 2004), (Berry & Reid, 1993).

- Caolinitas ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Del nombre chino Kau-ling, proceden de la carbonatación de la ortoclasa (feldespato potásico), están formadas por una lámina silícica y otra alumínica, que se superponen indefinidamente. La unión entre todas las retículas es lo suficientemente firme para no permitir la penetración de moléculas de agua entre ellas (adsorción), se produce una capa electrónicamente neutral. En consecuencia, las arcillas caolíníticas serán relativamente estables en presencia del agua.
- Montmorilonitas  $[(\text{OH})_4\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20} \cdot n\text{H}_2\text{O}]$ . El nombre proviene de Montmorillon en Francia; pertenecen al grupo de las esmécticas. Están formadas por una lámina alumínica entre dos silícicas, superponiéndose indefinidamente. En este caso la unión entre las retículas del mineral es

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

débil, por lo que las moléculas de agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad, a causa de las fuerzas eléctricas generadas por la naturaleza dipolar. Lo anterior produce un incremento en el volumen de los cristales, lo que se traduce macrofísicamente, en una expansión.

- Illitas  $[(OH)_4 K_y (Si_{8-y} Al_y) (Al_4 Fe_4 Mg_4 Mg_6) O_{20}]$ , con  $y$ , por lo general, igual a 1.5]. Debe su nombre a Illinois en Estados Unidos, están estructuradas análogamente que las montmorilonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos de materia por la presencia de iones de potasio, que reduce el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su expansividad es menor que la de las montmorilonitas y, en general, las arcillas ilíticas, se comportan mecánicamente en forma más favorable para el ingeniero.

**Table 4.5 Atterberg Limit Values for the Clay Minerals**

Mineral <sup>a</sup>	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Shrinkage Limit (%)
Montmorillonite (1)	100–900	50–100	8.5–15
Nontronite (1)(2)	37–72	19–27	
Illite (3)	60–120	35–60	15–17
Kaolinite (3)	30–110	25–40	25–29
Hydrated halloysite (1)	50–70	47–60	
Dehydrated halloysite (3)	35–55	30–45	
Attapulgite (4)	160–230	100–120	
Chlorite (5)	44–47	36–40	
Allophane (undried)	200–250	130–140	

<sup>a</sup>(1) Various ionic forms. Highest values are for monovalent; lowest are for di- and trivalent. (2) All samples 10% clay, 90% sand and silt. (3) Various ionic forms. Highest values are for di- and trivalent; lowest are for monovalent. (4) Various ionic forms. (5) Some chlorites are nonplastic.

*Data Sources:* Cornell University (1950), Samuels (1950), Lambe and Martin (1955), Warkentin (1961), and Grim (1962).

Tabla 5. Valores de los límites de Atterberg para minerales de arcilla. (Mitchell & Soga, 2005).

### 1.3.10 EDAFOLOGÍA DE JOJUTLA.

De acuerdo a los datos otorgados por INEGI, el suelo de Jojutla es un suelo de tipo vertisol.

Del latín *vertere*, voltear. Literalmente, suelo que se revuelve o que se voltea. Suelos de climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa. La vegetación natural va de selvas bajas a pastizales y matorrales. Se caracterizan por su estructura masiva y su alto contenido de arcilla, la cual es expandible en húmedo formando superficies de deslizamiento llamadas facetas, y que por ser colapsables en seco pueden formar grietas en la superficie o a determinada profundidad. Su color más común es el negro o gris oscuro en la

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

zona centro a oriente de México y de color café rojizo hacia el norte del país. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Ocupan gran parte de importantes distritos de riego en Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz. Son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza. En estos suelos se produce la mayor parte de caña, cereales, hortalizas y algodón. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización. Su símbolo es (V) (INEGI, 2004, pág. 20).

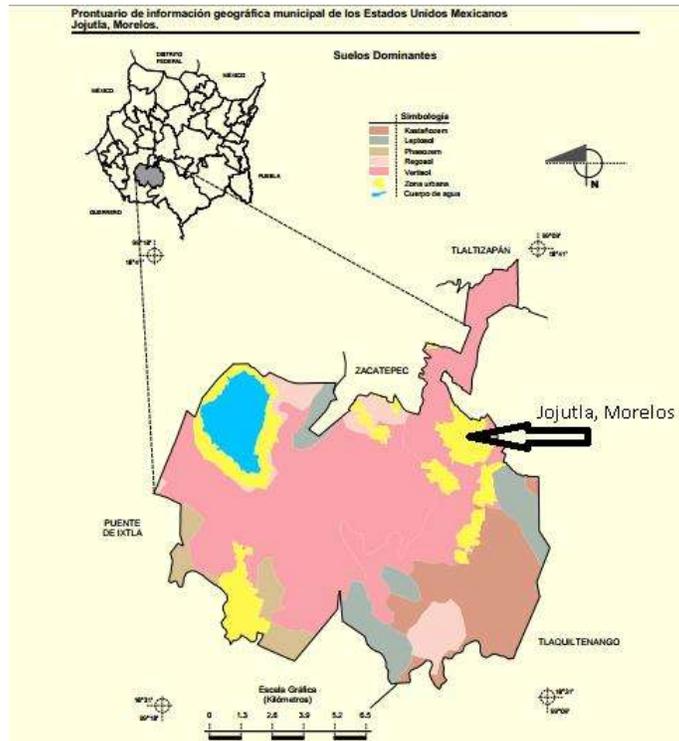


Figura 21. Suelo tipo vertisol en Jojutla de Juárez, Morelos. (INEGI, 2009)



Figura 22. Muestra de suelo tipo vertisol (INEGI, 2004).

## **1.4 SISMICIDAD**

### **1.4.1 DEFINICIÓN DE SISMO.**

Un sismo es el movimiento generado por la propagación de ondas en el interior de la Tierra, esto se debe a la interacción entre placas tectónicas. Se debe recordar que el planeta tierra está cubierto por una capa llamada litósfera, la cual tiene una longitud de 100 km, que se puede fracturar si se ejerce una fuerza sobre él y tiene un rompecabezas formado por placas tectónicas (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2017),

El movimiento de las placas tectónicas hace que exista fricción en los bordes e impidan el movimiento de una placa con respecto de la otra. Cuando la fuerza de fricción es enorme, se pueden generar rupturas en los bordes de las placas tectónicas, dichas rupturas ocurren de forma violenta y liberan energía, energía que se disipa sobre el terreno en forma de ondas. Esas ondas sísmicas se presentan en todas las direcciones, ya sea en forma horizontal o vertical, son dos tipos de ondas: trepidatorias u oscilatorias.

Se sabe que las ondas o vibraciones generan movimientos trepidatorios cuando el lugar es cercano al epicentro y la componente vertical del movimiento es mayor que las horizontales. Ahora cuando las ondas están viajando, las componentes de las ondas sísmicas se atenúan y al llegar a un suelo blando las componentes horizontales se amplifican, el movimiento de las ondas es oscilatorio (Servicio Sismológico Nacional, 2020).

### **1.4.2 SISMICIDAD EN MÉXICO.**

México es un país en el que ocurren sismos con frecuencia debido a su ubicación geográfica, el país se encuentra en la zona con mayor peligro sísmico en el mundo llamada el Cinturón de Fuego del Pacífico.

En el país existe una gran actividad sísmica debido a la interacción entre las placas de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la del Caribe. La Placa Norteamericana se separa de la del Pacífico pero roza con la del Caribe

y choca contra las de Rivera y Cocos, de aquí la incidencia de sismos (Servicio Geológico Mexicano, 2017), como se puede observar en la figura 23.



Figura 23. Placas tectónicas que interactúan en territorio mexicano. (Servicio Sismológico Nacional, 2017).

### 1.4.3 REGIONES SÍSMICAS EN MÉXICO.

El país se divide en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios de siglo (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

- Zona A: No existen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
- Zonas B y C. Se consideran zonas intermedias, los sismos se registran con poca frecuencia o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.
- Zona D: Se han reportado grandes sismos históricos, los sismos ocurren frecuentemente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

# CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO



Figura 24. Zonas sísmicas de México (Ciencias Sociales CEUJA 2016, 2016).

## 1.4.4 SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985.

El día 19 de septiembre de 1985 ocurrió uno de los mayores sismos que han afectado al país, un sismo con magnitud de 8.1 grados en escala de Richter cuyo epicentro fue en Caleta de Campos, Michoacán. Tuvo tres replicas en los días siguientes.



Figura 25. Epicentro del sismo del 19 de septiembre de 1985 (CIRES, 2015).

De acuerdo a la información recolectada el sismo rompió una falla de 180 kilómetros de longitud bajo las costas del estado de Michoacán y parte del estado de Guerrero. Se sabe que las ondas llegaron a ser un 30% de mayor amplitud que en las cercanías del epicentro. Esto se debió a que el sismo liberó mucha energía sísmica en dirección de la Ciudad de México con las características necesarias para que el suelo lacustre de la zona vibrara en gran forma. Debido a las

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

características del suelo, se generó movimiento durante más de tres minutos (UNAM, 2017).

Para obtener datos un poco más precisos sobre pérdidas humanas, diversas fuentes de información, en años recientes se realizaron investigaciones minuciosas del Registro Civil de la Ciudad de México, se hizo una estimación de los fallecidos en base a las actas de defunción expedidas, dicha investigación arroja una cantidad de más de 10 mil personas, las cuales fallecieron a causa de lesione y traumatismos por derrumbe generados por el sismo. De igual forma los daños materiales fueron enormes en edificios y casas habitacionales destruidas; servicios de agua, energía y teléfono dañados, fugas de gas y agua; y daños en los caminos principalmente.



Figura 26. Daños generados por el sismo de 1985 (CIRES, 2015).



Figura 27. Daños generados por el sismo de 1985 (CIRES, 2015).

Este sismo fue generado por la actividad existente entre las placas de Cocos y la placa Norteamericana, en zona de subducción. La zona de subducción consiste en el choque de dos placas tectónicas, la placa de cocos está hecha de material muy denso, como consecuencia se desplaza por debajo de la placa Norteamericana.

Este es el sismo más devastador que se ha registrado en el país debido a que provocó grandes pérdidas humanas y materiales. Una de las grandes consecuencias que dejó el sismo de 1985 fue la modificación del “Reglamento de construcciones para el Distrito Federal”, ya que miles de oficinas, viviendas, escuelas y hospitales fueron afectados gravemente. Algunos de los principales daños observados en las edificaciones que influyeron en su destrucción son los siguientes (Vásquez Vera, 1997):

1. Cargas excesivas: En edificios destinados a oficinas y bodegas, se habían acumulado archiveros, muebles y algunos equipos, los cuales incrementaron enormemente el peso de la construcción, por lo tanto las fuerzas sísmicas horizontales eran enormes.
2. Estructuración irregular: Esto se refiere a que cierto nivel de un edificio tiene una forma diferente con respecto al siguiente nivel, por lo tanto las torsiones excesivas causan daños en la estructura.
3. Losas planas reticulares: Mal comportamiento ante un sismo
4. Plantas bajas flexibles: En algunos edificios de departamentos, la planta baja estaba libre de muros, lo que ocasiono desplazamientos en las estructuras y daños.
5. Modificaciones a la estructura: Es común que los habitantes modifiquen el aspecto de la edificación, por ejemplo, cuando la persona decide retirar muros de carga sin hacer una revisión estructural, sustituyen los muros con trabes que toman solamente la carga vertical.
6. Mantenimiento: Falta de mantenimiento, lo que produce el deterioro de materiales de la construcción.
7. Período de vibración: El periodo de vibración coincide con el periodo de vibración del sismo
8. Estructuras metálicas: Comportamiento inadecuado.
9. Falla en cimentación: Asentamientos en estructuras cimentadas superficialmente.
10. Muros de cortante: En general, los edificios resueltos con muros de cortante para resistir el sismo, se comportaron en forma muy adecuada.

Los daños vistos en las estructuras de la Ciudad de México generaron grandes consecuencias en la industria de la construcción, esto se refiere a la modificación en el “Reglamento de construcciones para el Distrito Federal”. A continuación se mencionan los aspectos más importantes que fueron modificados (Vásquez Vera, 1997):

1. Zonificación del Distrito Federal en tres tipos de suelo: blando (I), de transición (II) y firme (III).
2. Coeficientes sísmicos: Se incrementaron los coeficientes sísmicos en las zonas II y III. En la zona II, se incrementó el coeficiente en un 60%, al cambiar de 0.20 a 0.32. Para la zona III, el incremento fue del 67%, pasando de 0.24 a 0.40.
3. Clasificación de las estructuras: En la clasificación de las estructuras se conservó el grupo A, el cual comprende edificaciones como hospitales, escuelas, museos, estaciones de bomberos, estaciones de policías, edificios de medios de transporte, centrales eléctricas, etc.
4. En el grupo B se encuentran edificaciones como oficinas, viviendas, hoteles, construcciones industriales y comerciales. El grupo B se dividió en dos: B1 y B2, esto en función de la altura de la construcción, área total y zona donde se localizan.
5. Aspectos del diseño arquitectónico: En esta sección, se menciona que los niveles de una construcción deben tener la misma configuración, es decir, que los niveles tengan simetría para evitar daños en la estructura durante un sismo.
6. Cargas vivas: Se observó que las previsiones reglamentarias anteriores se rebasaron ampliamente, debido a la acumulación de objetos en las estructuras, lo que incrementaba el peso de la construcción.
7. Responsables de la obra: Dentro de las grandes modificaciones que sufrió el Reglamento de construcción del Distrito Federal fue la creación de las figuras de Director Responsable de Obra y la del Corresponsal de Seguridad Estructural, dichas figuras deben revisar el procedimiento constructivo de las edificaciones.

8. Varios: Dentro de las modificaciones más importantes destacan:
  - a. Reducción de desplazamientos máximos.
  - b. Separación en estructuras contiguas.
  - c. Consideraciones en la interacción suelo-estructura.
  - d. Diseño por resistencia última en estructuras de acero.
  - e. Uso de concreto clase 1 en estructuras tipo A y B1, concreto clase 2 para estructuras tipo B2.
  - f. Revisión periódica de las estructuras tipo A.

#### 1.4.5 SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DEL 2017.

Uno de los sismos más impactantes en años recientes fue el sismo del 19 de septiembre de 2017 a las 13:14:39 horas tiempo del centro de México; a 8 km al noroeste de Chiautla de Tapia, Puebla; magnitud de 7.1 grados en escala de Richter; las coordenadas registradas del epicentro son latitud  $18.3297^\circ$  norte y longitud  $-98.6712^\circ$  oeste; a una profundidad de 51 km; a una distancia de 62.13 km de Jojutla, Morelos (Servicio Sismológico Nacional, 2020).

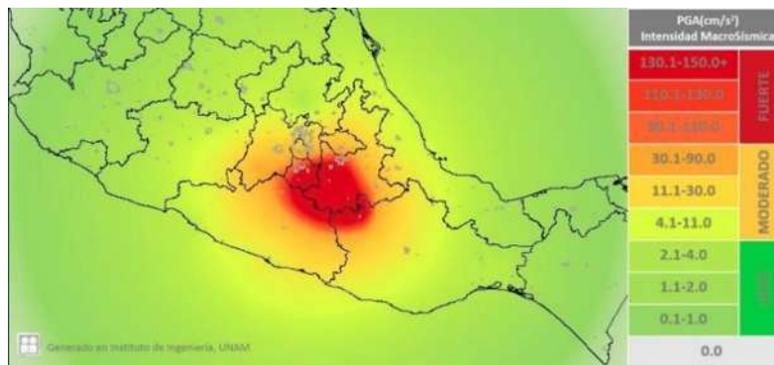


Figura 28. Mapa de intensidades del temblor del día 19 de septiembre de 2017 (Servicio Sismológico Nacional, 2017).

La ruptura del sismo del 19 de septiembre de 2017 ocurrió dentro de la placa oceánica de Cocos (sismo intraplaca), por debajo del continente, a una profundidad de 57 km. (Cruz Atienza, Krishna Singh, & Ordaz Schroeder, 2017).

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

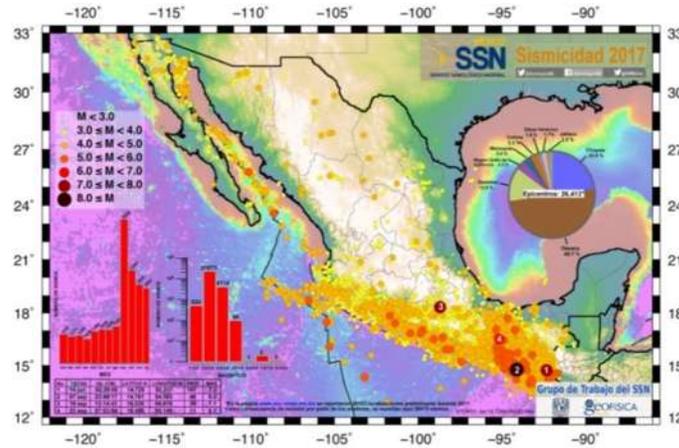


Figura 29. Mapa de sismicidad anual 2017 (Servicio Sismológico Nacional, 2020).

El sismo del 19 de septiembre provocó el daño en aproximadamente 16,630 inmuebles en todo México y también dejó pérdidas humanas cuyas cifras oficiales arrojan 369 personas fallecidas. La Ciudad de México fue la zona más afectada con 228 víctimas mortales, Morelos (74), Puebla (45), Estado de México (15), Guerrero (6) y Oaxaca (1).

Es necesario saber porque en algunas zonas los daños suelen ser tan catastróficos. Como ya se mencionó anteriormente, el incidente del 19 de septiembre de 2017 fue un sismo intraplaca. Estos sismos de profundidad intermedia, se producen por esfuerzos extensivos a lo largo de la placa de Cocos. Las fallas geológicas asociadas a estos sismos se conocen con el nombre de fallas normales. (Cruz Atienza, Krishna Singh, & Ordaz Schroeder, 2017).

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

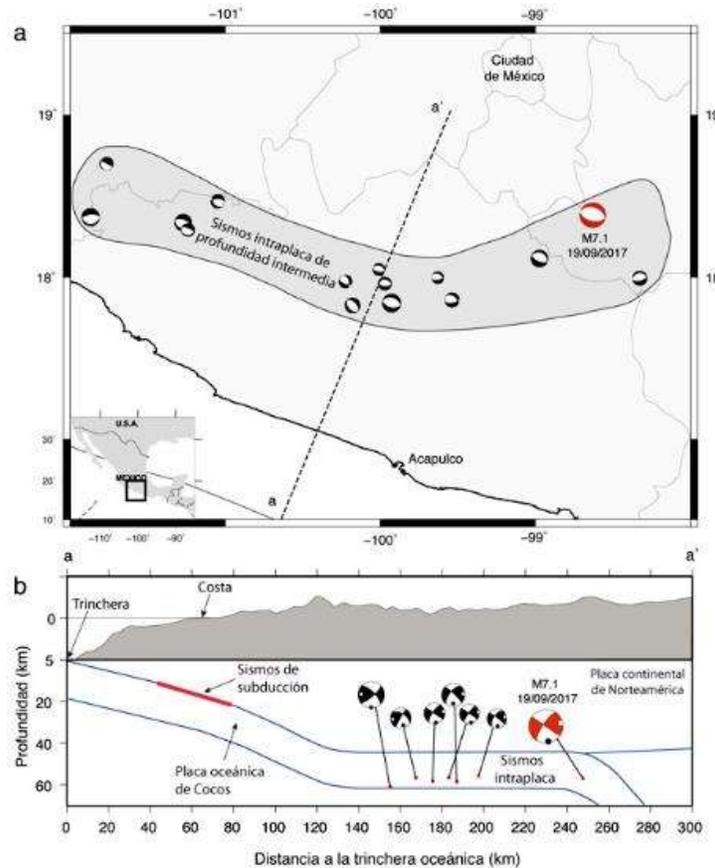


Figura 30. Localización del sismo del 19 de septiembre magnitud 7.1 en escala de Richter (Cruz Ateienza, Krishna Singh, & Ordaz Schroeder, 2017).

Debido a los daños generados por este sismo, también se hicieron modificaciones en el reglamento de construcción de la Ciudad de México, por ejemplo, se incrementaron los coeficientes de seguridad y se modificaron los criterios de diseño en las estructuras. Los daños en las edificaciones tanto en la Ciudad de México como en el resto de los estados afectados, fueron generados por varios aspectos:

- 1) Incumplimiento del reglamento de construcciones.
- 2) Falta de mantenimiento en las estructuras.
- 3) Las autoridades otorgaban permisos de construcción sin hacer las revisiones necesarias a los proyectos.
- 4) Cambios de uso de suelo.
- 5) Irregularidades en los edificios.

- 6) Uso de materiales de baja calidad.
- 7) Uso de los edificios para otros fines, por ejemplo en la Ciudad de México una edificación tipo B funcionaba como escuela primaria, fue gravemente dañada, por lo tanto muchos menores de edad perdieron la vida.



## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---



Figura 32. Localización de las muestras en Jojutla, y comparación con la zonificación sísmica de mayor peligro identificada por las brigadas de emergencia. Autor: Adrià Sánchez Calvillo



Figura 33. Mapa de Jojutla de Juárez, Morelos. En achurado se indican las zonas afectadas por el sismo del 19 de septiembre de 2017, correspondientes a la Colonia Centro y la Colonia Emiliano Zapata. (Información de brigadas).

### VISITA DE CAMPO Y RECOLECCIÓN DE DATOS

En julio del año 2018, se realizó la toma de muestras con visitas de campo, mediante un equipo multidisciplinar entre la Facultad de Arquitectura y la Facultad de Ingeniería Civil y el Departamento de Materiales de la Universidad Michoacana San Nicolás de Hidalgo junto con la cooperación del Instituto Tecnológico de Zacatepec representado por el Mtro. Osvaldo de la Paz Soto y el Mtro. Calos Bustos, quienes después del sismo estuvieron a cargo de las brigadas de emergencia que trabajaron en la zona de Jojutla



Figura 34. Fabricación de bloques de adobe y ladrillos cerámicos (Imágenes capturadas por Adrià Sánchez Calvillo).

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---



Figura 35. Materiales utilizados para la producción del adobe: arcilla y paja. (Imágenes capturadas por Adrià Sánchez).



Figura 36. Bloques de adobe en construcciones de Jojutla de Juárez, Morelos. (Imágenes capturadas por Adrià Sánchez Calvillo).



## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO



Figura 37. Daños en construcciones ocasionadas por el sismo del 19 de septiembre de 2017 (Imágenes capturadas por Adrià Sánchez Calvillo).

### LABRADO

Antes de realizar las pruebas de resistividad eléctrica, velocidad de pulso, compresión simple y carga puntual a las muestras de adobe (a excepción de las muestras 1 y 13, ya que estas provienen de banco de material), fue necesario hacer un labrado de los adobes para formar cubos con dimensiones de 5 cm x 5 cm x 5cm aproximadamente. Los instrumentos necesarios son los siguientes:

- Cúter.
- Calibrador o vernier.
- Guantes de látex.
- Plástico.

Procedimiento:

1. Se cubre la mesa de trabajo con plástico para recuperar los restos de material que caigan sobre ella, es necesario recuperarlo debido a que todas las muestras contienen aproximadamente dos kilogramos de material.



Figura 38. Preparación de la zona de trabajo, muestra de adobe.

2. Se toma un fragmento de adobe y se comienza a hacer el tallado o labrado.
3. Cuando se realice el labrado, se debe tomar precaución para no destruir el cubo.
4. Este proceso puede demorar un poco debido a la presencia de paja y fragmentos de grava, es por esto que el labrado debe realizarse con cautela. Debe revisarse la longitud de cada lado con periodicidad.



Figura 39. Labrado de bloque de adobe, bloque de adobe recién labrado.

## 2.1 COLORIMETRÍA

Esta es una prueba no destructiva muy importante en el campo de la restauración debido a que ayuda a determinar la pérdida de intensidad de color en los materiales utilizados para la restauración de monumentos porque la observación subjetiva puede generar errores (Martínez Molina, y otros, 2018). “El color se define como la parte visible del espectro electromagnético que puede ser captado e interpretado por el sentido de la vista. Cuando la luz toca alguna superficie, ésta refleja una parte. La parte que se refleja de la luz es captada por el ojo humano e interpretada como color.” (QuimiNET, 2012)

Para realizar el análisis colorimétrico se utiliza el sistema CIE, el cual fue creado en 1976 por la Comisión Internacional de Iluminación (en francés: Commission Internationale de l'Éclairage) para la evaluación y medición del color en términos de reflectancia, la capacidad de las superficies para reflejar la luz espectral de la muestra (Martínez Molina, y otros, 2018). El sistema se basa en la luminosidad  $L^*$

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

(blanco o negro); y las coordenadas cromáticas  $a^*$ (+a rojo. -a verde) y  $b^*$ (+b amarillo, -b azul).

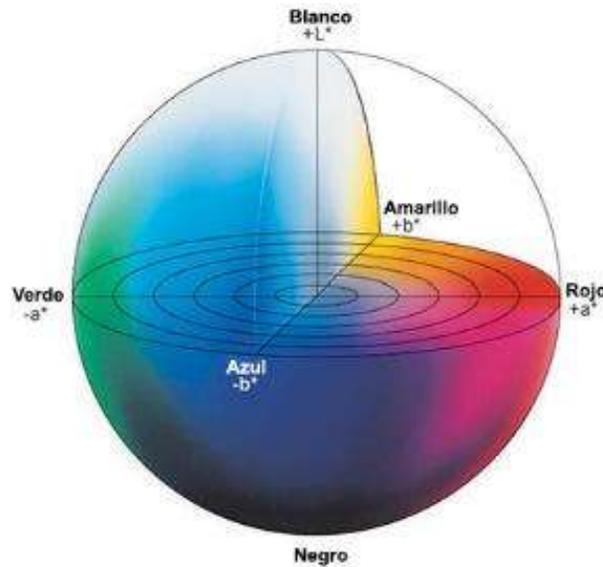


Figura 40. Diagrama de espacio de color. (Konica Minolta Sensing, 2014)

### Equipo

El colorímetro: “Es el dispositivo que permite la cuantificación de un color y permite su comparación con otro. Una vez hecha la cuantificación, el valor numérico asignado al color estudiado permitirá su adecuada clasificación en la escala de colores.” (EcuRed, 2013) El equipo que se utilizó en la prueba fue el colorímetro CLRM-200 de precisión 8 mm de abertura de medición. El procedimiento fue bastante simple, mediante aparato se tomaron lecturas de colorimetría en todas las caras de la muestra, al final se obtuvo un promedio de las variables  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .



Figura 41. Bloques de adobe.



Figura 42. Uso del equipo de colorimetría.

## 2.2 HUMEDAD ACTUAL

La determinación del porcentaje de humedad actual se obtuvo con el equipo de trabajo es un Medidor de Humedad Delmhorst DH-BD2100. Este dato es muy importante en pruebas de mecánica de suelos, ya que es un valor necesario en la prueba de compresión triaxial.

El procedimiento de la determinación de humedad actual es bastante sencillo, consiste en colocar, ejerciendo presión contra el bloque de adobe, las extremidades del equipo de humedad, manipular el equipo y registrar las lecturas. La prueba se realizó a todas las muestras de adobe, el electrodo se colocó en cada una de las caras del bloque de adobe, registrando las lecturas y al final se calculó un promedio para cada muestra.



Figura 43. Obtención del porcentaje de humedad actual.

## 2.3 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

La resistividad eléctrica es una característica propia de los materiales, y es útil en la caracterización porque permite conocer la oposición de la muestra al paso de la electricidad, su valor se representa en ohmios-metro. Esta prueba se realizó a los cubos labrados previamente de los bloques de adobe.

“La medición de la resistividad del suelo se utiliza para el control de la corrosión de estructuras enterradas. La resistividad del suelo se utiliza tanto para la estimación de las tasas de corrosión esperadas como para el diseño de sistemas de protección catódica, es importante tomar tantas medidas como sea necesario para obtener una caracterización suficientemente representativa del entorno del suelo que experimente toda la estructura enterrada.” (ASTM G57, 2012, pág. 2).

Procedimiento:

1. Se toman las medidas de los cubos de adobe.
2. Se coloca la muestra sobre el resistómetro.
3. Se colocan las caras del cubo labrado entre dos placas metálicas de cobre, entre las cuales se deben colocar dos trapos húmedos para tener un paso de la corriente firme. Sobre las placas de cobre es necesario colocar un bloque de material o un objeto pesado para que la placa no se pueda mover durante la prueba
4. Se conectan las placas de cobre al equipo de prueba mediante los electrodos y se hace circular la corriente eléctrica, tomando nota de los valores obtenidos por el equipo.
5. Después de terminar la prueba, se limpian las caras del cubo de adobe que estuvieron en contacto con trapos húmedos con un trapo seco para evitar la alteración de las propiedades del adobe. Se dejan secar durante 24 horas.



Figura 44. Medición de la muestra; preparación de la muestra; resistómetro.

Cálculo:

Cuando la muestra de suelo está contenida en forma de cubo, se utiliza la siguiente ecuación para obtener la resistividad eléctrica:

$$\rho = R * \left(\frac{A}{a}\right)$$

Dónde:

$\rho$  = Resistividad eléctrica, en  $\Omega$ -cm.

R = Resistencia eléctrica, en  $\Omega$ .

A = Área del cubo de adobe en  $\text{cm}^2$ .

a = Espesor del cubo de adobe en cm.

## 2.4 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO

Este método de ensayo cubre la determinación de la velocidad del impulso de propagación de ondas de compresión en el material, se rige por la norma ASTM C-597 09. “El aparato de prueba consta de un generador de impulsos, un par de transductores (transmisor y receptor), un amplificador, un circuito de medición de tiempo, una unidad de visualización de tiempo y cables de conexión”. (ASTM C597, 2009, pág. 1).

El equipo utilizado para esta prueba fue V-Meter MK IV de la marca James Instruments Non Destructive Test Equipment con características técnicas: rango de frecuencia de 24 a 500 kHz, según los transductores seleccionados; sensibilidad del receptor de 250 micro voltios, entre 30 kHz y 100 kHz; impedancia de entrada del receptor con aproximadamente 100 k ohmios; medición del tiempo de tránsito 0.1 a 6553.5 microsegundos, pantalla digital directa; 4 horas de operación continua; precisión de la medición 0.1 microsegundos; salida del

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

transmisor pulso 1000 / 500V, 2 microsegundos; transmisor frecuencia de grupo de pulso seleccionable 1, 3 o 10; selección de ganancia 1, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500; batería 14 voltios 4-10 horas de uso continuo (Ion de litio); monitor 320 por 240; retro iluminado para uso diurno; almacenamiento 1800 lecturas; software compatible con Windows XP; temperatura 0°- 50°C; instrumento peso 6 libras (2,75 kg); peso de la nave 17 libras (7,7 kg); dimensiones de 4.5 "x 8.5" x 10.5 "(114.3 mm x 223.5 mm x 267 mm).

En el proceso de esta prueba fue necesario realizarla lo más rápido posible para evitar que el gel penetrara exceso la muestra de adobe y pudiese contaminar las muestras.

### Procedimiento:

1. Se calibra el equipo.
2. Se mide la longitud del cubo de adobe.
3. Se determina la masa de la muestra de adobe.
4. Se aplica gel a los transductores y las superficies de prueba (los extremos de la muestra cilíndrica) con el fin de evitar el aire atrapado entre la superficie de contacto de los transductores y la superficie de hormigón.



Figura 45. Calibración del generador de impulsos; medición de la longitud del cubo de adobe.

5. Se juntan las caras de los transductores contra las superficies del adobe asegurando un buen contacto.
6. Se mide el tiempo de tránsito.
7. El procedimiento se repite para cada cubo, se limpian los excesos de gel en ambas caras y se dejan secar durante 24 horas.



Figura 46. Determinación de la masa del cubo de adobe; medición de la velocidad de pulso.

## 2.5 ESFUERZO A COMPRESIÓN SIMPLE

Después de realizar las pruebas de Resistividad eléctrica y Velocidad de pulso ultrasónico, se determinó la carga máxima de compresión en un solo eje para los cubos de adobe (Navarro Sánchez, Martínez Molina, & Espinoza Mandujano, 2011), (NMX-C-083-ONNCCE-2014, 2014).

Equipo:

- ✓ Muestras representativas de adobe.
- ✓ Cinta.
- ✓ Fuente de calor.
- ✓ Azufre.
- ✓ Máquina universal Tinius Olsen.

Procedimiento:

1. Se calienta el azufre en una olla hasta que se alcance el estado líquido.
2. Se coloca la cinta en dos caras del cubo para llenarlas de azufre.
3. Se vierte el azufre y se nivela.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---



Figura 47. Derretimiento del azufre; preparación de los cubos de adobe con cinta adhesiva.



Figura 48. Colocación del azufre.

4. Se espera a que el azufre se solidifique y se retiran los pedazos de cinta.
5. Se enumeran cada una de las muestras y se toman las medidas reales para calcular el área efectiva.



Figura 49. Enfriamiento del azufre; medición de las dimensiones a cada muestra.

6. Se ajusta y se nivela la máquina.
7. Se coloca la muestra en la máquina universal de pruebas.
8. Se ajusta y se nivela la máquina universal.
9. Se aplica le carga lentamente y constante hasta que la muestra falle, se registra la carga de ruptura.



Figura 50. Colocación de las muestras en la máquina universal Tinius Olsen.



Figura 51. Aplicación de carga en los cubos de adobe.

Cálculo:

La Máquina Tinius Olsen nos indica la carga de falla de ruptura, se debe obtener la ruptura a compresión con la siguiente fórmula

$$R = \frac{W}{A}$$

Dónde:

R = resistencia máxima a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>).

W = carga máxima aplicada a la muestra (kg).

A = área de contacto de la muestra (cm<sup>2</sup>).

## 2.6 ESFUERZO A CARGA PUNTUAL

El ensayo de carga puntual es una prueba que se rige por la norma ASTM D5731-08 cuyo objetivo es determinar la resistencia de fragmentos roca sometidos a cargas puntuales que se aplican mediante un par de piezas cónicas. Para esta prueba no existen datos o resultados en muestras de arcilla, por lo tanto se trabajó como si fueran fragmentos de roca. (ASTM D5731, 2008).

En base a la norma:

“La prueba se realiza con un probador de carga punto básico, el cual se compone de un sistema de carga típicamente compuesto por un bastidor de carga, rodillos, un sistema de medición para indicar la carga,  $P$ , (requerida para romper la muestra), y un medio para medir la distancia,  $D$ , entre los dos puntos de contacto de platina en el inicio de la prueba y después de un fallo. El equipo deberá ser resistente a golpes y vibraciones de modo que la precisión de las lecturas no se ve afectada negativamente por pruebas repetidas.” (ASTM D5731, 2008, pág. 2).



Figura 52. Probador de carga punto básico.

Para este ensayo, se utilizaron los cubos sometidos a compresión simple. La carga puntual se aplicó en el eje perpendicular al de la prueba mencionada anteriormente. Los cubos labrados previamente, se parten en fragmentos pequeños para realizar la prueba. Se deben revisar cuatro condiciones para fragmentos irregulares como lo indica la norma, en caso de cumplir, se procede a realizar la prueba.

Procedimiento:

Se seleccionan los fragmentos irregulares y se toman sus medidas:

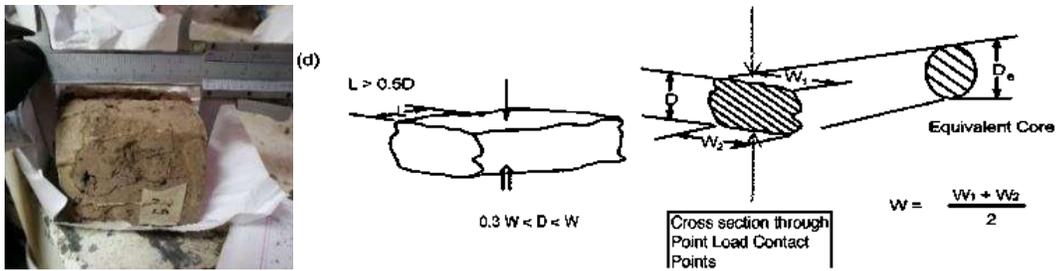


Figura 53. Determinación de dimensiones en el bloque de adobe; determinación de dimensiones de la muestra irregular. (ASTM D5731, 2008, pág. 3).

Cálculo

Índice de carga puntual sin corregir

$$I_s = \frac{P * 1000}{De^2}$$

Dónde:

$I_s$  = Índice de carga puntual en Mpa.

$P$  = Carga de ruptura en KN.

$De$  = Diámetro del núcleo equivalente en mm



Figura 54. Aplicación de carga puntual en la muestra 5.2; muestra fragmentada.

En las muestras irregulares el diámetro equivalente se calcula con la siguiente fórmula:

$$De = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$A = WD =$  Área transversal mínima de la sección de un plano a través de los puntos de contacto de la pletina.

El índice de resistencia a la carga puntual corregido,  $I_s(50)$  de una muestra se define como el valor del índice de carga puntual  $I_s$  que se ha medido por una prueba diametral con  $D = 50\text{mm}$ .

Para hacer la corrección del tamaño se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_s(50) = F * I_s$$

El factor de corrección  $F$  se obtiene con la siguiente ecuación:

$$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45}$$

Si el fragmento de material está cerca del tamaño estándar de 50 mm, se utiliza esta otra ecuación:

$$F = \sqrt{\frac{De}{50}}$$

Por último se calcula el esfuerzo de carga puntual con la siguiente expresión:

$$\sigma = UCS = K * I_s(50)$$

$$\sigma = 24 * I_s(50) * \left(10.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)$$

Dónde:

$I_s(50)$  = Índice de carga corregido, en Mpa.

$K$  = Constante igual a 24, según la norma ASTM D5731-2008.

1 Mpa = 10.2 kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.7 MICROSCOPIA

Antes de realizar la prueba de microscopia es necesario preparar las muestras de la siguiente forma:

Equipo:

- Mortero de Agatha.
- Guantes de látex.
- Alcohol.
- Trapo.
- Globos.
- Bolsas de plástico y etiquetas.
- Báscula.
- Malla o tamiz N° 200.
- Charola de fondo para la malla N° 200.
- Aspersor de aire.

Procedimiento.

1. Antes de manipular el material, se deben cubrir las manos con guantes de látex porque el sudor o la grasa corporal pueden afectar las lecturas de microscopia.
2. Se seca el material en el horno a 50°C, para no modificar la composición del material debido a las altas temperaturas.
3. Se toman 100 gramos de cada muestra, la mitad se tritura con ayuda del mortero de Agatha y el resto se guarda en bolsas de plástico.



Figura 55. Peso del material

4. La porción que se tritura deberá pasar la malla N° 200, el material retenido se vuelve a triturar hasta que pase dicho tamiz.



Figura 56. Triturado de las muestras con el mortero de Agatha.

5. Algunas muestras contienen cierta cantidad de paja, entonces es necesario separarla con un globo generando electricidad estática, obteniendo la mayor cantidad de paja posible.
6. Tanto el material triturado (50 gramos) como los terrones (50 gramos) y la paja deberán ser etiquetados y enumerados en bolsas separadas.
7. Se limpia la malla N° 200 con cepillos y el aspersor de aire. El mortero de Agatha se lava con agua de la llave y después se limpia con un trapo humedecido en alcohol.



Figura 57. Muestra N° 6; aspersor de aire.

## 2.8 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

La prueba del potencial de hidrógeno es necesaria para conocer los porcentajes de material-aditivo necesarios para estabilizar un suelo. Este método se utiliza para obtener un porcentaje bajo de la relación material-aditivo que arroje un resultado cercano de pH de 12.4 (ASTM D6276, 2012).

Esta prueba se realizó por medio de un medidor de pH industrial y tiras reactivas CIVEQ CVQ2051. El equipo utilizado en la prueba fue “Hanna Waterproof tester Combo pH y EC”, resistente al agua, con lecturas de pH, CE/TDS y temperatura. También se realizó una medición complementaria con tiras reactivas, que permiten obtener rangos que ayudan a corroborar los resultados del medidor de pH.

Procedimiento con el medidor de pH:

1. Con ayuda de una báscula digital, se pesa el material a analizar.
2. Se llena un vaso de plástico con agua de la llave, y se pesa. El peso del agua y del material debe ser igual.
3. Se deposita el material dentro del vaso con agua, y se deja ablandar durante unos minutos.
4. Se mezcla el agua y el material con un agitador.
5. Se enciende el medidor y se presiona el botón para configurar el modo pH.
6. Se sumerge el equipo en la muestra para analizar.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

7. Se toman las lecturas cuando desaparece el símbolo de estabilidad en la parte superior izquierda de la pantalla, esto tarda un par de minutos.
8. Se muestran los resultados de pH en el centro de la pantalla, mientras que en la parte baja de esta aparece la lectura de temperatura en °C.



Figura 58. Medidor de pH Hanna Waterproof tester; resultados de pH.

Procedimiento con las tiras reactivas:

1. Se pesa el material a analizar.
2. Se llena un vaso de plástico con agua de la llave, y se pesa. El peso del agua y del material debe ser igual.
3. Se deposita el material dentro del vaso con agua, y se deja ablandar durante unos minutos.
4. Se mezcla el agua y el material con un agitador.
5. Se toma una de las tiras y se sumerge en la mezcla o solución durante un segundo.
6. Se compara la tira con los colores estandarizados para obtener el resultado.



Figura 59. Medición de pH con tiras reactivas; colores estandarizados de pH.

## 2.9 GRANULOMETRÍA EN MATERIAL FINO

Esta prueba consiste en separar por tamaños las partículas de suelo, a través de un conjunto de mallas de aberturas cuadradas. Las proporciones que se retienen en cada una de ellas se pesan, expresando dicho retenido como porcentajes en peso de la muestra total. El análisis se rige por las normas (M-MMP-1-06/03, 2003) y (NMX-C-496-ONNCCE-2014, 2014).

### EQUIPO Y MATERIALES

- Juego de mallas.
- Básculas.
- Vaso de aluminio.
- Agitador de varilla metálica.
- Cucharón.
- Charolas.
- Tapas y charolas de fondo para las mallas.
- Mortero.
- Trapo.

### PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

1. En el primer paso es necesario secar el material en un recipiente, dejándolo en el horno 24 horas a aproximadamente 105°, posteriormente se saca y se deja enfriar a temperatura ambiente. La paja hace combustión a esta temperatura. Para el caso de estudio se secó el material a 50 °C durante tres días para evitar perder las fibras del material. Las muestras 1 y 13, suelos de la región de Morelos, necesitaron cerca de tres semanas para perder su humedad relativa.
2. Disgregar la muestra utilizando el mortero metálico, hasta que el material tenga una textura fina.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO



Figura 60. Trituración del material con un mortero.

3. En la granulometría fina se obtiene por cuarteo una porción representativa de la muestra con un peso aproximado de 200 gramos, el cual se determina y se anota como  $W_m$  (Peso de la muestra), con aproximación de un gramo.



Figura 61. Cuarteo de la muestra.

4. Se preparan los juegos de mallas para la arena, acomodándolas en el primer caso y ensamblándolas en el segundo, en orden descendente de aberturas de acuerdo con lo indicado en las normas mexicanas y terminando cada juego con las charolas de fondo (Mallas N°10, N°20, N°40, N°60, N°100 y N° 200). Se vierte el material sobre la malla superior, se coloca la tapa, y se efectúa la operación de cribado, imprimiendo al juego de mallas un movimiento vertical y horizontal, durante 5 minutos.



Figura 62. Cribado de la muestra.

5. Se quita la tapa, se separa la malla N° 10 y se agita sobre una charola. Debemos asegurar que el material pase dicha malla durante un minuto, no sea mayor que 1 gramo.
6. El material que pasó la malla N° 10 se vierte sobre la malla N° 20 y se deposita en la charola. Se repite este procedimiento del cribado adicional con cada una de las mallas restantes. Las partículas que hayan quedado atoradas deberán regresarse a las porciones retenidas correspondientes, cepillando las mallas por al revés. A continuación se pesan los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotan los pesos respectivos.



Figura 63. Determinación del peso retenido de las mallas.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}D_{10}}$$

Figura 64. Fórmulas utilizadas para obtener el coeficiente de uniformidad ( $C_u$ ) y el coeficiente de curvatura ( $C_c$ ). (Manual de Mecánica de Suelos I, 2008).

## 2.10 PRUEBA DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

La prueba de límites de consistencia tiene como objetivo conocer la plasticidad de la porción de suelo que pasa el tamiz #40, cuyos resultados se utilizan principalmente en edificación y clasificación de los suelos (M-MMP-1-07/07, 2007), (NMX-C-493-ONNCCE-2018, 2018).

### EQUIPO Y MATERIALES

- ❖ Malla N° 40.
- ❖ Copa de Casagrande y ranuradores (plano y curvo) como se especifica en las normas.
- ❖ Báscula de 200 gramos y con aproximación de 0.01 gramos.
- ❖ Horno.
- ❖ Secadora.
- ❖ Cápsula de porcelana de 12 cm de diámetro.
- ❖ Espátula de hoja de acero flexible de 7.5 cm de longitud y de 2 cm de ancho, con punta redonda.
- ❖ Cuenta gotas.
- ❖ Cápsulas metálicas.
- ❖ Paño.
- ❖ Placa de vidrio.
- ❖ Alambre de acero.
- ❖ Cápsula de contracción volumétrica.
- ❖ Cápsula de contracción lineal.
- ❖ Vernier.
- ❖ Estopa y desmoldante.

# CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

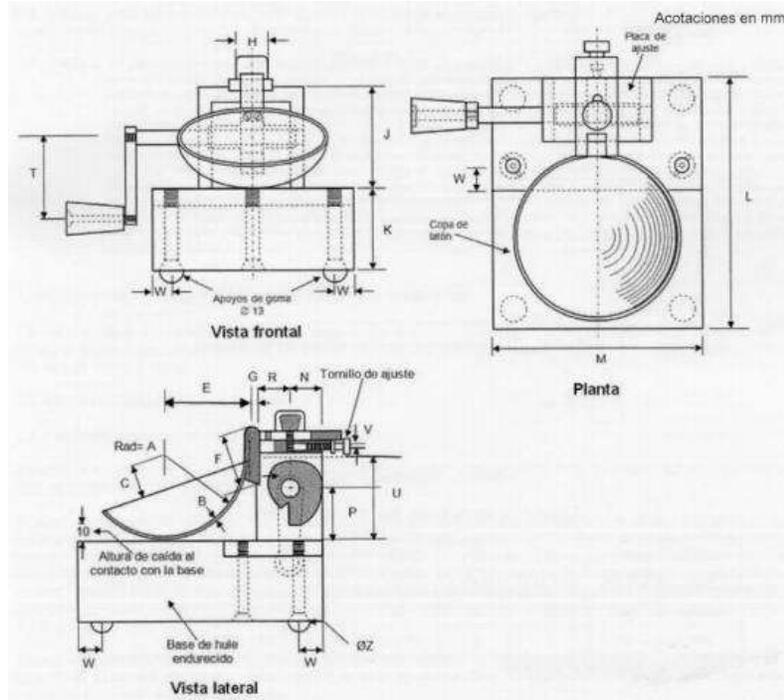


Figura 65. Copa de Casagrande para la prueba de límites de consistencia (NMX-C-493-ONNCCE-2018, 2018).

LETRA	A*	B*	C*	E*	F	G	H	J*	K*	L*
mm	54,8 ± 1,0	2 ± 0,1	27 ± 1,0	56 ± 2,0	32	10	16	60 ± 1,0	50 ± 2,0	150 ± 2,0
LETRA	M*	N	P	R	T	U*	V	W	Z	
mm	125 ± 2,0	24	28	24	45	47 ± 1,0	3,8	13	6,5	
*Dimensiones necesarias y verificables.										

Tabla 7. Dimensiones de la copa de Casagrande. (NMX-C-493-ONNCCE-2018, 2018).

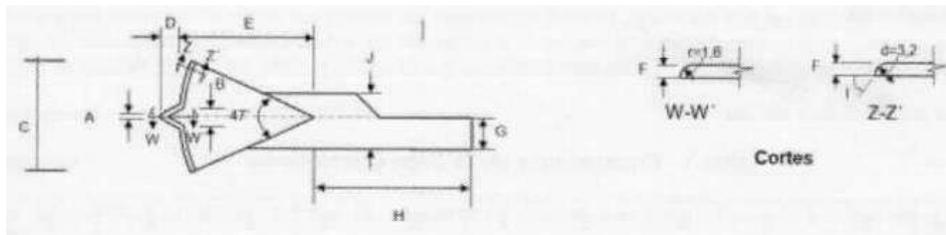


Figura 66. Ranurador plano. (NMX-C-493-ONNCCE-2018, 2018).

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

<b>LETRA</b>	<b>A*</b>	<b>B*</b>	<b>C*</b>	<b>D*</b>	<b>E*</b>	<b>F*</b>
<b>mm</b>	$2 \pm 0,1$	$11 \pm 0,3$	$40 \pm 1,0$	$8 \pm 0,2$	$50 \pm 1,5$	$2 \pm 0,1$
<b>LETRA</b>	<b>G</b>	<b>H</b>		<b>I*</b>	<b>J</b>	
<b>mm</b>	$10 \pm 0,2$	$60 \pm 2$		$60 \text{ Grados} \pm 2$	20	

*\*Dimensiones necesarias y verificables.*  
**Nota 3.** La dimensión de A debe ser 1,9 - 2,0 y la dimensión de D debe ser 8,0 - 8,1 cuando sea nuevo para permitir una vida útil adecuada.

Tabla 8. Dimensiones del ranurador plano. (NMX-C-493-ONNCCE-2018, 2018).

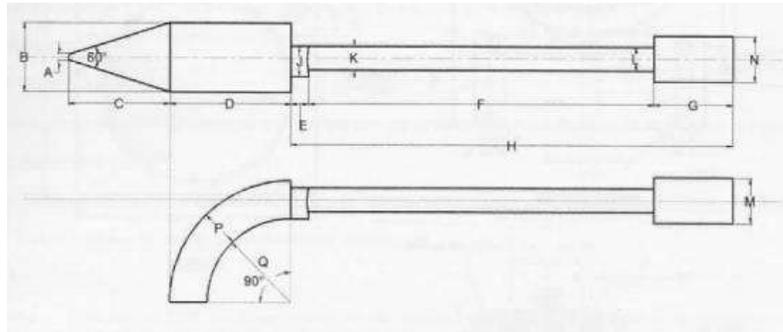


Figura 67. Ranurador curvo. (NMX-C-493-ONNCCE-2018, 2018).

<b>LETRA</b>	<b>A*</b>	<b>B*</b>	<b>C*</b>	<b>D*</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
<b>mm</b>	$2 \pm 0,1$	$13,5 \pm 0,2$	$10 \pm 0,2$	22	6	68	16	90
<b>LETRA</b>	<b>J</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M*</b>	<b>N*</b>	<b>P*</b>	<b>Q*</b>	
<b>mm</b>	8	5	6	$10 \pm 0,2$	$10 \pm 0,2$	$10 \pm 0,2$	$22 \pm 0,2$	

*\*Dimensiones necesarias y verificables.*

Tabla 9. Dimensiones del ranurador curvo. (NMX-C-493-ONNCCE-2018, 2018).

### CALIBRACIÓN DEL EQUIPO Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Justo antes de iniciar cada prueba, se revisa que la Copa de Casagrande este perfectamente calibrada, la altura de caída de esta es de 1 cm, es importante utilizar el mango del ranurador el cual tiene esa dimensión.

La preparación de la muestra consiste en cribar material por la malla N° 40 (0.425 milímetros), una cantidad aproximada de 300 gramos debido a que se realizó a 4 rangos de golpes, se coloca el material cribado en una cápsula de porcelana grande, agregamos agua destilada (se utiliza agua destilada para que las

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

impurezas del agua de llave no afecten la composición del material), se agrega la cantidad necesaria y se deja saturando durante 24 horas en un lugar fresco, la muestra debe cubrirse con un trapo húmedo para evitar la pérdida de agua por evaporación.



Figura 68. Material cribado por el tamiz N°40 y saturación en agua destilada durante 24 horas.

### DETERMINACIÓN DEL LIMITE LÍQUIDO (LL)

El proceso para su obtención es el siguiente:

1. Se llena el formato de la prueba con los datos de la muestra, número de cápsulas y peso de cápsulas, que serán utilizadas para el límite líquido (5 cápsulas), límite plástico (3 cápsulas), contracción lineal y contracción volumétrica.
2. Del material previamente cribado por la malla o tamiz #40, es necesario tomar una porción como la norma M-MMP-1-07/07 lo indica colocándola en una cápsula de porcelana y procedemos a homogenizar nuestro material.
3. En el siguiente paso, se coloca el material en la Copa de Casagrande previamente calibrada, la cantidad deberá ser suficiente para que, cuando sea extendido con la espátula, tenga un espesor de 8-10 milímetros en la parte central del material distribuido en la copa. Se comienza a extender el material desde el centro hacia la izquierda o derecha, evitando la aplicación de presión excesiva y con el menor número de pasadas de espátula posible, ya que el material pierde humedad. Cada vez que se distribuye el material en la copa, en los bordes quedan ciertos fragmentos, los cuales

hay que eliminarlos para evitar que caigan debajo de la copa.



Figura 69. Homogenización del material en cápsula de porcelana; distribución del material sobre la Copa de Casagrande.

4. En la parte central del material distribuido en la copa, se hace una abertura firme con el ranurador, el cual deberá permanecer normal respecto a la superficie interior de la copa. El ranurador deberá tener las dimensiones como lo indica la norma mexicana M·MMP·1·07/07.



Figura 70. Ranura en la Copa de Casagrande.

5. Después de colocar el material y hacer la ranura, se baja la manivela de la copa para hacer la caer, debe golpear a un ritmo de dos golpes por segundo, se registra el número de golpes necesarios para hacer que ambas partes del material tengan contacto en una longitud de 13 milímetros aproximadamente.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO



Figura 71. Medición del cierre de ranura en la Copa de Casagrande.

- Después de lograr el paso anterior, se toma con ayuda de la espátula una porción de 10 gramos, directamente de la ranura cerrada y se coloca en una cápsula metálica. Se pesa en la báscula, se anota el peso húmedo y se introduce la cápsula en el horno a 105 °C. Cabe mencionar que en este paso el material fue secado a 70°, ya que las arcillas pueden cambiar su composición si son sometidas a altas temperaturas. Por este motivo se dejó la cápsula permanecer en el horno 2 días.



Figura 72. Obtención del límite líquido.



Figura 73. Cápsulas con material del límite líquido secado en el horno.

- Devolvemos el material restante a la cápsula de porcelana, limpiamos la

copa y el ranurador con trapo húmedo, y secamos con un trapo seco.

8. Se agrega agua destilada, o se reduce la humedad de la muestra con una secadora para obtener el límite líquido del siguiente rango de golpes. Repetiremos la prueba hasta obtener 4 o 5 puntos, los cuales deben estar en un rango entre 10 y 35 golpes, obteniendo dos valores arriba y dos valores por debajo de los 25 golpes. De acuerdo a la norma M-MMP-1-07/07, para consistencias menores a 10 golpes es difícil identificar el cierre de la ranura y la prueba se dificulta cuando buscamos un cierre de ranura a más de 35 golpes. Como una pequeña observación, se realizó esta prueba la mayoría de las veces en rangos de 10-15, 15-20, 20-25 y 25-30 golpes.
9. Por último, se grafican los puntos de cada rango: el eje de las abscisas se representa por el número de golpes en escala logarítmica, y el de las ordenadas con los porcentajes de contenido de agua en escala aritmética. Se traza una línea de tendencia que pase por los puntos graficados lo más cerca posible, a esa curva se le llama curva de fluidez. Se obtiene el punto de intersección de la línea de 25 golpes con la línea recta trazada, el valor obtenido de la ordenada se reporta como límite líquido del suelo, se expresa como contenido de agua en porciento y redondeado al número más cercano (Manual de Mecánica de Suelos I, 2008).

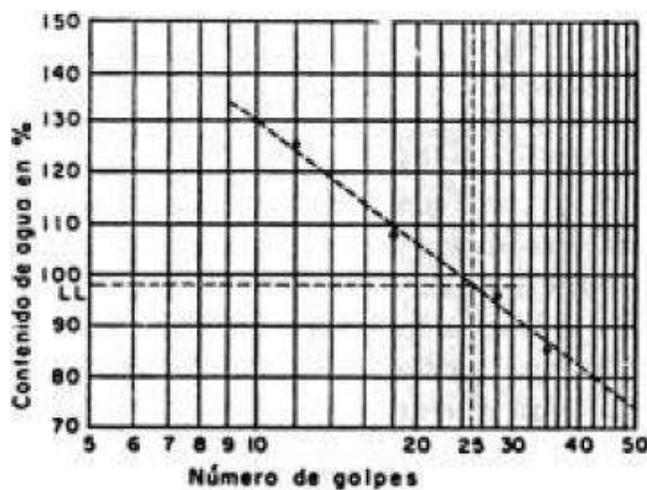


Figura 74. Determinación del límite líquido en la curva de flujo (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2017).

### DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO (LP)

1. Para obtener el límite plástico, se toma una porción de la cápsula de porcelana, extendemos sobre el cristal, reduciremos la humedad con una secadora hasta que el material se pueda moldear, tomaremos una porción para formar una esfera de aproximadamente 12 milímetros de diámetro, se moldea con los dedos para que pierda la humedad y se forma un cilindro manipulándolo sobre la palma de nuestra mano.
2. Se gira el cilindro con los dedos sobre el cristal para reducir su diámetro a 3 milímetros, con una velocidad de 60-80 ciclos por minuto. Se entiende por ciclo el movimiento de la mano hacia adelante y hacia atrás, volviendo a la posición inicial.
3. Si al alcanzar ese diámetro el cilindro no se rompe en tres secciones de forma simultánea, significa que el contenido de agua es mayor al límite plástico. En dicho caso se junta todo el material para formar una pequeña esfera, se manipula con los dedos lo que nos facilita su pérdida de humedad y lograr una distribución uniforme del material.



Figura 75. Secado de material sobre una placa de cristal; giro del rollo de material sobre la placa de cristal; secado de los rollos de material.

4. Se repiten los pasos anteriores hasta lograr que el cilindro se fracture en tres segmentos en el momento de alcanzar el diámetro de 3 milímetros, verificando con el alambre de referencia.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO



Figura 76. Revisión del límite plástico.

5. En este último paso se colocan los fragmentos de los cilindros en cápsulas metálicas y determinamos su contenido de agua. Se recomienda llevar a cabo 3 determinaciones del límite plástico en cada muestra para tener mayor precisión en los datos.



Figura 77. Obtención del límite plástico.

6. Después de colocar los rollos en las cápsulas metálicas, se introducen en el horno para secarlos a  $105^{\circ}$  aproximadamente. Para el caso de estudio, como se comentó anteriormente, el material fue secado a  $70^{\circ}$ , ya que el material podría cambiar su composición si es secado a altas temperaturas, por lo tanto la cápsula debe permanecer en el horno 2 días.



Figura 78. Cápsulas con material del límite plástico.

## DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE PLÁSTICO

El índice plástico es la diferencia del límite líquido y el límite plástico, este indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico como lo definen los ensayos (Crespo Villalaz, 2004).

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

IP= Índice plástico del suelo, en %.

LL= Límite líquido del suelo, en %.

LP= Límite plástico del suelo, en %.

## DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN LÍNEAL

1. Para la prueba de contracción lineal, se toma una porción del material que cerró a los 25 golpes o dentro de un rango de 23-27 golpes con la Copa de Casagrande (Determinación del límite líquido) a un molde rectangular previamente engrasado con aceite de automóvil para facilitar la extracción del material. El material debe colocarse en tres capas, cada una se compacta golpeando la cápsula con el borde de la mesa de trabajo, esto nos ayuda a eliminar el aire que se encuentre en el material, hasta que ya no aparezcan burbujas sobre la superficie del material.
2. Se hace un enrasado sobre la superficie del material con ayuda de una espátula y se deja orear a la sombra para que el material pierda humedad durante 24 horas, después se coloca la cápsula dentro del horno a 105°+-. En este paso se secó el material a 70°, ya que el material puede cambiar su composición si es secado a altas temperaturas, por lo tanto la cápsula debe permanecer en el horno 2 días.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO



Figura 79. Compactación del material y secado de la cápsula de contracción lineal fuera del horno.

3. Se extrae del horno la cápsula con el material, se deja enfriar a la temperatura ambiente durante algunos minutos y a continuación se saca del molde la barra.



Figura 80. Barras de contracción lineal secadas en el horno.

4. Por último, se mide con el vernier la longitud media de la barra del material seco y la longitud interior del molde.



Figura 81. Medición de la barra de contracción lineal.

### Cálculos

La contracción lineal se obtiene con ésta fórmula:

$$CL = \frac{L_i - L_f}{L_i} 100$$

Dónde:

CL = Contracción lineal, en %.

$L_i$  = Longitud inicial de la barra de suelo húmedo, que corresponde a la longitud interior del molde, en cm.

$L_f$  = Longitud de la barra de suelo seco, en cm.

### DETERMINACIÓN DE LA CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA

1. En esta prueba se agrega una porción del material que cerró a los 25 golpes o cerca de 25 golpes con la Copa de Casagrande (Determinación del límite líquido) a un molde circular previamente engrasado con aceite de auto para facilitar la extracción del material. Se coloca en tres capas, cada una se compacta golpeando la cápsula con el borde de la mesa de trabajo, esto nos ayuda a eliminar el aire que se encuentre en el material, hasta eliminar las burbujas sobre la superficie del material.
2. Se hace un enrasado sobre la superficie del material con ayuda de una espátula y tomamos el peso húmedo del material más el peso de la cápsula inmediatamente.
3. Se deja orear a la sombra para que el material pierda humedad durante 24 horas, después colocamos la cápsula dentro del horno a  $105^{\circ}\pm$ . Nosotros secamos el material a  $70^{\circ}$ , ya que el material puede cambiar su composición si es secado a altas temperaturas, por lo tanto la cápsula debe permanecer en el horno 2 días.

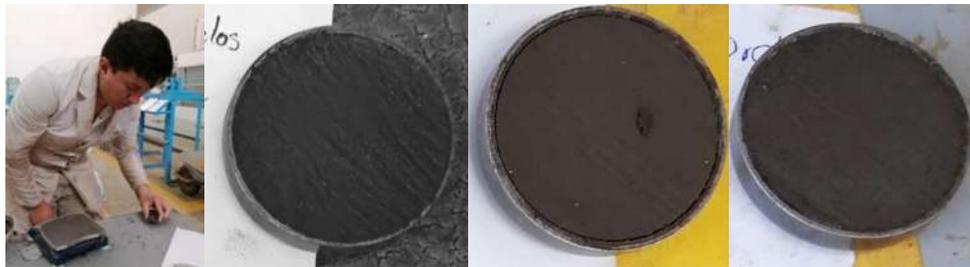


Figura 82. Compactación del material y secado de la contracción volumétrica fuera del horno.

4. Se extrae la cápsula del horno y dejamos enfriar durante unos minutos para registrar el peso seco más el peso del molde.



Figura 83. Cápsulas de contracción volumétrica secas.

5. Se anota el peso del molde.
6. Se determina el volumen de la pastilla de suelo seco. Para esto necesitamos:
  - i) Mercurio.
  - ii) Cápsula de porcelana.
  - iii) Plato de evaporación.
  - iv) Placa de vidrio.
  - v) Taza de vidrio.
  - vi) Guantes de látex.
7. Sobre la cápsula de porcelana, se llena la taza de vidrio con mercurio hasta que se desborde, se enrasa presionando con la placa de vidrio y se limpian los restos de mercurio adheridos a la taza.



Figura 84. Colocación del mercurio y enrasado de la cápsula con la placa de cristal.

8. Se coloca la taza llena de mercurio sobre el plato de evaporación, se sumerge cuidadosamente la cápsula seca de material con las puntas de la

placa de vidrio hasta que tope firmemente con la taza de vidrio. (Es esencial que no quede aire atrapado bajo la pastilla de suelo ni bajo la placa de vidrio).

9. Se registra el peso del mercurio desplazado por la pastilla y se divide por la densidad del mercurio ( $\gamma_{Hg} = 13.55 \text{ g/cm}^3$ ) para obtener el volumen de la pastilla de suelo seco.



Figura 85. Peso del mercurio desplazado por la pastilla de contracción volumétrica.

10. Es necesario saber que el mercurio es un material altamente peligroso, por lo tanto, debemos desechar las pastillas de material contaminadas tras su uso.

Cálculos

Cálculo del contenido de agua

$$W = \left( \frac{W_h - W_s}{W_s} \right) 100$$

Dónde:

W = Humedad del suelo en el momento que fue moldeado, %.

Wh = Peso del suelo húmedo, gr.

Ws= Peso del suelo seco, gr.

Cálculo del límite de contracción

$$W_c = W - \left( \frac{(V_h - V_s)\gamma_w}{W_s} \right) 100$$

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

Dónde:

$W_c$  = límite de contracción, en %.

$W$  = Humedad del suelo en el momento que fue moldeado, en %.

$V_h$  = Volumen de la pastilla de suelo húmedo, en  $\text{cm}^3$ .

$V_s$  = Volumen de la pastilla de suelo seco, en  $\text{cm}^3$ .

$\gamma_w$  = Densidad del agua,  $\text{gr}/\text{cm}^3$ .

$W_s$  = Peso del suelo seco, gr.

### 3 RESULTADOS

En este capítulo se describirán los resultados obtenidos para todas las muestras, las cuales fueron sometidas a pruebas de: colorimetría, humedad actual, resistividad eléctrica, velocidad de pulso ultrasónico, esfuerzo a compresión simple, carga puntual, microscopia, potencial de hidrógeno (pH), granulometría fina, y límites de consistencia.

#### 3.1 COLORIMETRÍA

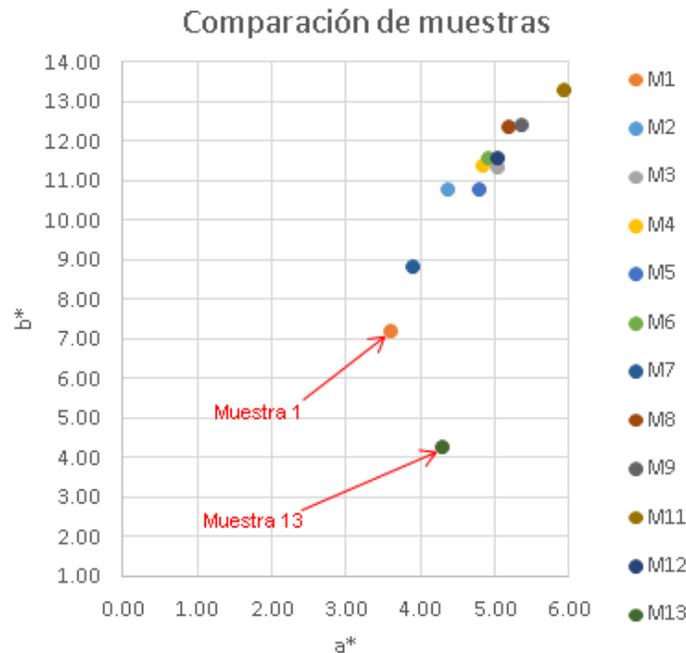
Después de hacer el labrado con los bloques de adobe, esta fue la primera prueba realizada con ayuda de un colorímetro, se tomaron 8 lecturas en cada bloque (2 por cara), y se registraron los resultados obtenidos (tabla 10).

COLORIMETRÍA						
Muestra	L*	a*	b*	L*	C*	h*
1	37.08	3.59	7.24	37.08	8.22	62.67
2	46.33	4.34	10.78	46.33	11.63	68.05
3	44.49	5.03	11.37	44.49	12.44	66.12
4	41.46	4.83	11.42	41.46	12.40	67.02
5	40.04	4.79	10.82	40.04	11.83	66.09
6	42.58	4.91	11.60	42.58	12.59	67.05
7	39.84	3.88	8.83	39.84	9.65	66.27
8	42.32	5.18	12.38	42.32	13.42	67.28
9	45.35	5.36	12.44	45.35	13.54	66.68
11	39.39	5.91	13.31	39.39	14.56	66.04
12	39.65	5.03	11.60	39.65	12.64	66.53
13	23.52	4.29	4.28	23.52	6.11	44.35

Tabla 10. Datos de colorimetría obtenidos con el colorímetro CLRM-200.

En la gráfica 2 se observan todos los resultados de colorimetría, para comparar la diferencia de intensidad el color de las muestras 1 y 13 (procedentes de excavación y ladrillera) con el resto de los bloques, se observa que la 7 es la más parecida en color a la 1. El análisis colorimétrico es de gran importancia cuando se

necesita restaurar edificios patrimoniales, porque se usan materiales que tengan un color muy parecido con los elementos del edificio patrimonial. Los aditivos que se agregan a la mezcla, modifican el color de los finos en adobes, por lo tanto, se elige la mezcla en cierto porcentaje que aumente la resistencia y al mismo tiempo tenga color similar con los ladrillos o elementos de la edificación.



Gráfica 2. Comparación de color entre las muestras M1 y M13 con M2-M12.

### 3.2 HUMEDAD ACTUAL

La humedad actual se obtuvo con facilidad a cada bloque de adobe por medio de un electrodo especial. Se tomaron varias lecturas y el resultado final es un promedio (tabla 11). La muestra 10 se descartó debido a la poca cantidad de material. Del análisis de los resultados se observa como las muestras de suelos estaban saturadas, mientras que los adobes conservaban un estado mucho más seco pese a haber estado sometidos a la intemperie por muchos meses.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

HUMEDAD RELATIVA ACTUAL (%)											
Muestra	Lecturas										Promedio
1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	-	-	-	-	-	100.00
2-A	94.70	92.20	87.90	94.30	91.50	100.00	100.00	98.40	97.80	92.60	94.94
2-B	85.80	89.20	88.90	91.20	90.70	-	-	-	-	-	89.16
3	81.80	83.20	77.00	81.30	77.50	84.40	77.50	-	-	-	80.39
4	64.70	77.00	75.60	72.80	71.20	76.10	69.00	78.30	77.50	80.10	74.23
5	88.20	76.10	86.60	80.90	76.10	84.80	88.40	81.90	84.40	79.20	82.66
6-A	77.50	75.60	80.90	85.20	83.60	-	-	-	-	-	80.56
6-B	67.50	84.40	81.50	84.40	75.20	-	-	-	-	-	78.60
7	82.50	71.00	81.50	77.50	76.60	76.10	85.20	77.90	-	-	78.54
8	77.50	76.00	73.60	71.80	79.20	70.00	75.60	71.60	72.60	-	74.21
9-A	100.00	83.60	100.00	100.00	78.30	100.00	100.00	100.00	89.20	86.60	93.77
9-B	80.00	82.30	86.50	89.60	91.90	100.00	97.40	-	-	-	89.67
11	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	-	-	-	100.00
12	73.70	73.60	65.70	72.10	70.20	77.00	70.00	73.80	79.90	70.70	72.67
13	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	-	-	-	-	-	100.00

Tabla 11. Resultados de humedad actual.

### 3.3 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

La resistividad eléctrica se hizo siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM G57-2012 a seis ladrillos de adobe, durante el labrado estos se dividieron en sub-muestras para cumplir con las dimensiones necesarias mencionadas en la norma. Un aspecto bastante importante es que al realizar la prueba se utilizan trapos húmedos, se colocan en los extremos de los cubos de adobe, se trata de muestras patrimoniales las cuales había que evitar alteraciones en su composición, entonces al terminar el análisis se eliminaba la humedad con un trapo seco y los cubos de adobe se dejaron secar al aire libre.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

Resistividad eléctrica							
Muestra	L1 promedio (cm)	L2 promedio (cm)	Esp promedio (cm)	Masa húmeda (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Resistencia eléctrica OHMS	Resistividad eléctrica OHMS-m
2-A1	5.73	5.78	5.80	213.04	192.09	15000.00	856.54
2-A2	9.33	9.35	9.09	934.00	792.97	6500.00	623.80
2-B1	8.27	8.30	8.71	723.17	597.86	30000.00	2364.21
2-B2	7.81	7.88	7.83	630.84	481.88	30000.00	2357.96
4	6.65	6.48	8.24	461.14	355.08	48000.00	2510.21
5.1	5.88	5.90	7.55	371.21	261.92	24000.00	1102.79
5.2	5.27	5.39	5.46	201.71	155.09	31500.00	1638.77
9-A	11.18	11.23	8.76	1482.75	1099.83	10700.00	1533.56
9-B1	4.88	4.90	4.23	130.93	101.15	40000.00	2261.18
9-B2	6.19	6.15	5.45	251.61	207.47	23500.00	1641.49
9-B3	8.16	8.30	5.08	410.64	344.06	16000.00	2133.17
11	8.38	8.38	8.82	873.80	619.38	800.00	63.70
12	5.35	5.09	6.45	236.42	175.64	52000.00	2195.41

Tabla 12. Resistividad eléctrica para las muestras 2, 4, 5, 9, 11 y 12.

### 3.4 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO

La velocidad de pulso ultrasónico se hizo acatando las recomendaciones de la norma ASTM C597-2009. En el procedimiento se coloca gel en dos caras opuestas del cubo, y sobre esas caras se colocan los sensores, se trata de muestras patrimoniales las cuales debían evitar alteraciones en su composición, por ello, al terminar el análisis se removió el gel con un trapo seco y los cubos de adobe se dejaron secar al aire libre. Los resultados se mantuvieron en un rango parecido para todas las muestras, exceptuando 2-B1 y 2-B2 que tuvieron valores más bajos.

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

Velocidad de Pulso Ultrasónico						
Muestra	L1 promedio (cm)	L2 promedio (cm)	Esp promedio (cm)	Masa húmeda (gr)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Velocidad de Pulso Ultrasónico (m/s)
2-A1	5.73	5.78	5.80	213.04	192.09	796.00
2-A2	9.33	9.35	9.09	934.00	792.97	326.00
2-B1	8.27	8.30	8.71	723.17	597.86	111.00
2-B2	7.81	7.88	7.83	630.84	481.88	78.00
4	6.65	6.48	8.24	461.14	355.08	924.00
5.1	5.88	5.90	7.55	371.21	261.92	918.00
5.2	5.27	5.39	5.46	201.71	155.09	965.00
9-A	11.18	11.23	8.76	1482.75	1099.83	608.00
9-B1	4.88	4.90	4.23	130.93	101.15	855.00
9-B2	6.19	6.15	5.45	251.61	207.47	418.00
9-B3	8.16	8.30	5.08	410.64	344.06	464.00
11	8.38	8.38	8.82	873.80	619.38	407.00
12	5.35	5.09	6.45	236.42	175.64	823.00

Tabla 13. Velocidad de pulso ultrasónico para las muestras 2, 4, 5, 9, 11 y 12.

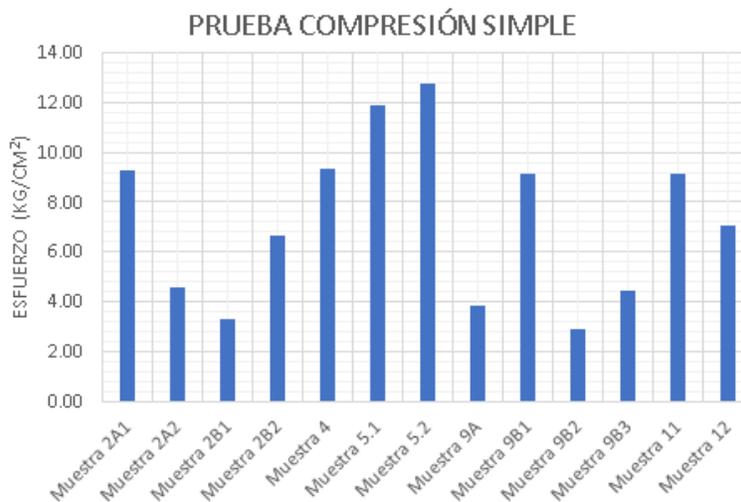
### 3.5 ESFUERZO A COMPRESIÓN SIMPLE

Esta prueba de esfuerzo a compresión simple fue realizada en la sección de resistencia de materiales con la máquina Tinius Olsen operada por los técnicos del laboratorio. Todo el procedimiento está basado en el manual de tercer y cuarto semestre “Análisis de materiales”, y la norma mexicana NMX-C-083-ONNCCE-2014.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

PRUEBA COMPRESIÓN SIMPLE						
Nº Muestra	L1 Promedio (cm)	L2 Promedio (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (MPa)
Muestra 2A1	5.73	5.78	33.12	307.50	9.28	0.91
Muestra 2A2	9.33	9.35	87.24	400.00	4.59	0.45
Muestra 2B1	8.27	8.30	68.64	229.00	3.34	0.33
Muestra 2B2	7.81	7.88	61.54	410.00	6.66	0.65
Muestra 4	6.65	6.48	43.09	403.00	9.35	0.92
Muestra 5.1	5.88	5.90	34.69	412.00	11.88	1.16
Muestra 5.2	5.27	5.39	28.41	363.00	12.78	1.25
Muestra 9A	11.18	11.23	125.55	486.00	3.87	0.38
Muestra 9B1	4.88	4.90	23.91	218.00	9.12	0.89
Muestra 9B2	6.19	6.15	38.07	110.00	2.89	0.28
Muestra 9B3	8.16	8.30	67.73	300.00	4.43	0.43
Muestra 11	8.38	8.38	70.22	641.00	9.13	0.89
Muestra 12	5.35	5.09	27.23	193.00	7.09	0.69

Tabla 14. Esfuerzo a compresión simple en kg/cm<sup>2</sup> y mega pascales (Mpa).



Gráfica 3. Esfuerzo a compresión simple en kg/cm<sup>2</sup>.

### Comparación de resultados con trabajos de tesis de licenciatura y artículos de investigación

Durante el proceso de investigación de este trabajo, se encontraron algunos resultados de esfuerzos a compresión simple en adobes, el origen de esa información proviene de investigaciones hechas en los estados de Guerrero y Chiapas, los cuales se mencionan a continuación:

El primer artículo, que es del año 2013, muestra los resultados de pruebas destructivas, entre ellas la resistencia a compresión simple de piezas de adobe, los valores mostrados son resultados medios por regiones del estado de Guerrero, son 7: norte, tierra, montaña, centro, Acapulco, costa y costa. Para cada región se obtuvo un valor promedio de compresión simple expresado en mega pascales, los ladrillos de adobe presentan una resistencia de compresión simple bastante baja en promedio de 1.10 Mpa (11.22 kg/cm<sup>2</sup>). Dentro de este trabajo de investigación se hizo la compresión para muros de mampostería en adobe, los cuales también se clasificaron por regiones y los resultados también son bajos con una resistencia promedio de 0.97 Mpa (9.89 kg/cm<sup>2</sup>). (Arroyo Matus, Sánchez Tizapa, & Catalán Quiroz, 2013, págs. 173-174)

También en el estado de Guerrero, en el 2019 se fabricaron 9 pilas con bloques de adobe con ciertas características geométricas, el material de cada pila procede de distintas regiones, el resultado promedio de esta investigación es de 1.23 Mpa (12.55 kg/cm<sup>2</sup>). (Catalán Quiroz, Moreno Martínez, Galván, & Arroyo Matus, 2019, págs. 6-7)

Los resultados obtenidos con las pruebas realizadas en Guerrero son desfavorables debido a la ubicación del estado en zona altamente sísmica. En cambio en el 2015 se publicó un trabajo de investigación hecho en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en el que se muestran los resultados de compresión axial en tabiques y pilas de adobe, dichos resultados tienen un promedio de 2.47 Mpa (25.16 kg/cm<sup>2</sup>) y 0.21 Mpa (2.11 kg/cm<sup>2</sup>). (Ruíz Sibaja & Vidal Sánchez, 2015, págs. 140-141, 143-144)

Existen muy pocos trabajos de tesis de licenciatura sobre pruebas a bloques de adobe, uno de ellos se llevó a cabo en Cuauhtémoc, municipio de Villaflores, Chiapas, en esa tesis cinco bloques de adobe fueron sometidos a compresión simple cuya resistencia promedio es de 3.36 Mpa (35.34 kg/cm<sup>2</sup>), un valor bastante alto en relación con las publicaciones mencionadas en los párrafos anteriores. (Cruz Farrera, 2018, pág. 83)

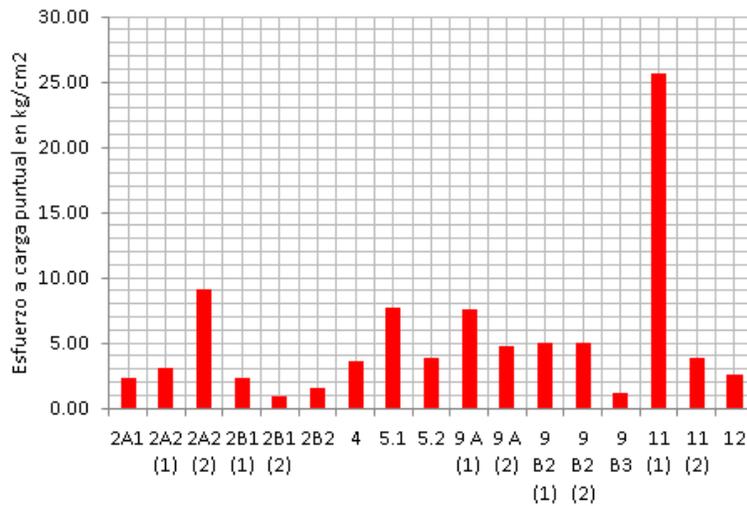
### 3.6 ESFUERZO A CARGA PUNTUAL

Esta prueba destructiva se realizó en dos sesiones con ayuda del M.I. Marco Antonio Navarrete Seras, aquí el procedimiento está basado en la norma ASTM D5731-2008, que se emplea para la carga puntual en rocas. En la investigación de este trabajo desafortunadamente no se encontraron artículos o publicaciones que hayan hecho este ensayo de carga puntual en suelos, dicha prueba se aplico a la mayoría de los cubos labrados siempre y cuando cumplan con las condiciones de forma establecidas por la norma. En la tabla 21 se muestran los resultados en kg/cm<sup>2</sup> y megapascales, comparando estos datos con los de esfuerzo a compresión simple en general son más bajos a excepción de la muestra 11(1) cuyo valor es de 25.70 kg/cm<sup>2</sup>, esto puede ser debido a la distribución de la paja y el tamaño de partículas del agregado pétreo.

CARGA PUNTUAL												
MUESTRA	Espesor D (mm)	Ancho W (mm)	A=WD (mm <sup>2</sup> )	De (mm)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (kn)	Is (Mpa)	F	F	Is(50) (Mpa)	σ (kg/cm <sup>2</sup> )	σ (MPa)
2A1	60.60	63.00	3817.80	69.72	4860.97	0.04	0.01	1.16	1.18	0.01	2.34	0.23
2A2 (1)	34.8	75.4	2623.92	57.80	3340.88	0.04	0.01	1.07	1.08	0.01	3.13	0.31
2A2 (2)	23.3	37.75	879.58	33.47	1119.91	0.05	0.04	0.83	0.82	0.04	9.12	0.89
2B1 (1)	40.9	66.4	2715.76	58.80	3457.81	0.03	0.01	1.08	1.08	0.01	2.28	0.22
2B1 (2)	35.7	57.85	2065.25	51.28	2629.55	0.01	0.00	1.01	1.01	0.00	0.94	0.09
2B2	61.7	69.2	4269.64	73.73	5436.27	0.03	0.01	1.19	1.21	0.01	1.61	0.16
4	61.60	85.70	5279.12	81.99	6721.58	0.08	0.01	1.25	1.28	0.01	3.64	0.36
5.1	57.30	80.80	4629.84	76.78	5894.90	0.15	0.03	1.21	1.24	0.03	7.72	0.76
5.2	57.20	60.50	3460.60	66.38	4406.17	0.06	0.01	1.14	1.15	0.02	3.84	0.38
9 A (1)	30.3	46.85	1419.56	42.51	1807.43	0.06	0.03	0.93	0.92	0.03	7.55	0.74
9 A (2)	37.4	40.6	1518.44	43.97	1933.34	0.04	0.02	0.94	0.94	0.02	4.78	0.47
9 B2 (1)	30.25	47.95	1450.49	42.97	1846.82	0.04	0.02	0.93	0.93	0.02	4.95	0.49
9 B2 (2)	30.25	47.95	1450.49	42.97	1846.82	0.04	0.02	0.93	0.93	0.02	4.95	0.49
9 B3	62	59.5	3689.00	68.53	4696.98	0.02	0.00	1.15	1.17	0.00	1.20	0.12
11 (1)	50.2	50.95	2557.69	57.07	3256.55	0.32	0.10	1.06	1.07	0.10	25.70	2.52
11 (2)	42.4	61.8	2620.32	57.76	3336.30	0.05	0.01	1.07	1.07	0.02	3.91	0.38
12	51.00	69.40	3539.40	67.13	4506.50	0.04	0.01	1.14	1.16	0.01	2.52	0.25

Tabla 15. Esfuerzo a carga puntual en kg/cm<sup>2</sup> y mega pascales (Mpa).

### PRUEBA CARGA PUNTUAL



Gráfica 4. Esfuerzo a carga puntual en kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.7 MICROSCOPIA

Durante el trabajo de investigación de adobes de Jojutla, uno de los análisis importantes a realizar es la microscopia para conocer la composición de las arcillas en cada bloque de adobe o mejor dicho que tipo de arcilla es, de esta forma se puede entender un poco mejor el comportamiento del material especialmente en los límites de consistencia. Para el experimento, se tomó una porción de material a cada muestra, y se analizaron en un laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de México. En las tablas 16, 17, 18 y 19 se muestran en porcentajes las fases cristalográficas de todas las muestras:

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

Muestra	Conteo	Fases cristalográfica	%	PDF	LL	LP	IP
M1	11407.12005	Illita	47.40	98-001-6033	79.13%	25.89%	53.25%
		Calcita	25.40	98-001-6067			
		Anortita	14.50	98-001-8871			
		Albita	6.90	98-000-3287			
		Cuarzo	5.80	98-001-2923			
M2	12667.18005	Albita	38.00	98-000-1587	35.05%	22.96%	12.09%
		Kaolinita	29.60	98-001-2777			
		Moscovita	13.40	98-000-2123			
		Calcita	10.80	98-000-2029			
		QUARTZ	7.10	98-001-2923			
		Magnetita	1.00	98-000-3425			
M3	13300	Albita	32.80	000-1587	27.04%	17.78%	9.27%
		Kaolinita	28.10	001-4956			
		Moscovita	17.20	000-1902			
		Calcita	8.00	000-2029			
		Nacrita	5.10	001-2801			
		Cuarzo	4.00	001-2923			
		Cristobalita	2.60	001-3071			
		Magnetita	2.10	000-9628			

Tabla 16. Resultados de análisis microscópico de las muestras 1 a 3.

Muestra	Conteo	Fases cristalográfica	%	PDF	LL	LP	IP
M4	14000	Anortita	53.00	001-8841	32.36%	16.12%	16.24%
		Nacrita	40.70	001-4962			
		Cuarzo	2.50	001-8772			
		Hematita	1.60	000-1193			
		Calcita	1.20	000-2029			
		Magnetita	1.00	000-9628			
M5	>12000	Albita	42.40	000-3287	33.62%	26.09%	7.53%
		Dickita	23.40	000-1179			
		Illita	13.30	001-6633			
		Cuarzo	9.30	000-8020			
		Calcita	6.10	001-4574			
		Kaolinita	3.20	001-2777			
		Cristobalita	2.30	001-3071			
M6	>14000	Kaolinita	46.00	001-4961	38.70%	26.26%	12.45%
		Albita	33.30	000-1587			
		Illita	16.90	000-6445			
		Cordierita	1.60	000-3634			
		Cuarzo	1.20	001-2923			
		Calcita	1.00	001-1958			

Tabla 17. Resultados de análisis microscópico de las muestras 4 a 6.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

Muestra	Conteo	Fases cristalográfica	%	PDF	LL	LP	IP
M7	>11000	Anortita	48.10	001-8871	36.65%	23.88%	12.76%
		Illita	25.80	001-6033			
		Calcita	16.10	001-6067			
		Albita	9.90	000-1587			
M8	>11000	Anortita	77.10	001 - 8871	21.65%	19.01%	2.64%
		Kaolinita	10.50	001 - 2777			
		Cordierita	9.20	000 - 3517			
		Calcita	3.20	001 - 7785			
		Cuarzo	2.80	000 - 8020			
		Albita	2.20	000 - 2705			
M9	>12000	Albita	72.80	000-1587	22.12%	19.91%	2.21%
		Nacrita	17.30	001-5208			
		Pirophillita	5.60	001-2858			
		Cuarzo	4.10	000-8027			
		Pargasita	0.20	000-3389			

Tabla 18. Resultados de análisis microscópico de las muestras 7 a 9.

Muestra	Conteo	Fases cristalográfica	%	PDF	LL	LP	IP
M10		Anortita	68.60	001-8871	-	-	-
		Moscovita	9.80	000-9707			
		Cuarzo	8.20	000-8020			
		Calcita	7.90	001-7785			
		Cristobalita	4.50	001-3071			
		Cordierita	1.00	000-9656			
M11	>12000	Anortita	53.20	001 - 8871	31.95%	24.14%	7.81%
		Kaolinita	36.70	001 - 4956			
		Illita	5.60	000 - 6445			
		Cuarzo	4.50	000 - 8020			
M12	>12000	Anortita	79.60	001-8871	25.25%	22.17%	3.08%
		Pargasita	13.40	000-8077			
		Calcita	2.60	000-7815			
		Cuarzo	2.40	001-8772			
		Cordierita	2.00	000-9653			
M13	>16000	Anortita	49.50	001-8871	70.21%	25.65%	44.56%
		Illita	27.70	001-6033			
		Pargasita	10.80	000-3377			
		Albita	8.50	000-1587			
		Cuarzo	3.50	001-2923			

Tabla 19. Resultados de análisis microscópico de las muestras 10 a 13.

### 3.8 POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

La prueba de potencial de hidrógeno básicamente se realizó en tres ocasiones, en la primera los resultados los resultados eran poco confiables debido a una falla en el procedimiento, en cambio, el resto de las pruebas se realizaron con el medidor de pH y las tiras reactivas. Esta prueba es necesaria para calcular la cantidad de aditivo que será utilizado en la mezcla del material. La norma (ASTM D6276, 2012) señala que la mezcla sometida a prueba debe tener un ph de 12.4 con temperatura de 24°C, por lo tanto ninguna de las muestras cumple con ese parámetro. Los resultados de ph en la relación material-aditivo deben aproximarse a lo establecido por la norma para saber la cantidad de aditivo a utilizar y que este genere más resistencia al material.

Ph comparativa 17 septiembre 2019						
Muestra	Peso de la muestra (gr)	Probador impermeable de ph				Papel indicador de ph CVQ 2051
		Ph	Resistividad (mS)	ppt	Temperatura °C	
1	40.75	7.71	1.65	0.83	23.1	7 a 8
2	41.31	7.55	3.41	1.7	24	7
3	39.34	7.34	9.95	5.02	23.4	7 a 8
4	39.63	8.03	0.78	0.39	23.8	8
5	42.42	7.3	5.32	2.63	24.7	7
6	42.33	7.79	1.12	0.56	24.1	7 a 8
7	43.49	7.61	2.72	1.37	23.1	7
8	38.79	7.79	2.4	1.2	23.5	7 a 8
9	47.45	7.81	1.85	0.92	23	7
10	32.28	8.09	1	0.52	23.2	7
11	38.3	7.1	13.65	6.76	23.4	6
12	40.72	7.87	2.27	1.1	23.6	7
13	42.09	6.76	1.06	0.54	24	6 a 7

Tabla 20. Comparación de resultados de pH obtenidos con el medidor industrial y tiras reactivas.

### 3.9 GRANULOMETRÍA FINA

La prueba de granulometría se realizó para todas las muestras de adobe y las dos de suelo. El procedimiento tomó bastante tiempo por distintas causas: el tiempo de secado del material a un máximo de 70°C, para evitar la combustión de la paja; el disgregado de los terrones y la separación de la paja mediante electricidad estática producida con un trozo de tela. Todos los análisis granulométricos se hicieron en dos semanas, a continuación se indican los resultados para cada muestra:

#### MUESTRA 1

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
Nº 4	4.76	1.60	0.86	0.86	99.14
10	2	6.80	3.68	4.54	95.46
20	0.84	31.40	16.97	21.51	78.49
40	0.42	59.80	32.32	53.84	46.16
60	0.25	16.40	8.86	62.70	37.30
100	0.149	22.60	12.22	74.92	25.08
200	0.074	20.00	10.81	85.73	14.27
Pasa Nº 200	0.01	26.40	14.27	100.00	0.00
TOTAL		185.00	100.00		

Tabla 21. Resultados de granulometría de la muestra 1.

#### MUESTRA 2

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
10	2	1.60	1.03	1.03	98.97
20	0.84	16.80	10.77	11.79	88.21
40	0.42	29.40	18.85	30.64	69.36
60	0.25	9.60	6.15	36.79	63.21
100	0.149	14.80	9.49	46.28	53.72
200	0.074	29.20	18.72	65.00	35.00
Pasa Nº 200	0.01	54.60	35.00	100.00	0.00
TOTAL		156.00	100.00		

Tabla 22. Resultados de granulometría de la muestra 2.

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE  
JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

**MUESTRA 3**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
10	2	3.60	2.09	2.09	97.91
20	0.84	4.40	2.56	4.65	95.35
40	0.42	11.00	6.40	11.05	88.95
60	0.25	42.80	24.88	35.93	64.07
100	0.149	28.00	16.28	52.21	47.79
200	0.074	55.60	32.33	84.53	15.47
Pasa N° 200	0.01	26.60	15.47	100.00	0.00
TOTAL		172.00	100.00		

Tabla 23. Resultados de granulometría de la muestra 3.

**MUESTRA 4**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
10	2	0.30	0.19	0.19	99.81
20	0.84	1.90	1.17	1.36	98.64
40	0.42	9.60	5.93	7.28	92.72
60	0.25	16.10	9.94	17.22	82.78
100	0.149	31.10	19.20	36.42	63.58
200	0.074	40.00	24.69	61.11	38.89
Pasa N° 200	0.01	63.00	38.89	100.00	0.00
TOTAL		162.00	100.00		

Tabla 24. Resultados de granulometría de la muestra 4.

**MUESTRA 5**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N° 4	4.76	4.60	2.69	2.69	97.31
10	2	2.40	1.40	4.09	95.91
20	0.84	22.20	12.98	17.08	82.92
40	0.42	17.60	10.29	27.37	72.63
60	0.25	16.80	9.82	37.19	62.81
100	0.149	17.40	10.18	47.37	52.63
200	0.074	36.60	21.40	68.77	31.23
Pasa N° 200	0.01	53.40	31.23	100.00	0.00
TOTAL		171.00	100.00		

Tabla 25. Resultados de granulometría de la muestra 5.

**CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO**

**MUESTRA 6**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N° 4	4.76	0.40	0.24	0.24	99.76
10	2	0.30	0.18	0.42	99.58
20	0.84	1.20	0.73	1.15	98.85
40	0.42	8.30	5.03	6.18	93.82
60	0.25	15.80	9.57	15.75	84.25
100	0.149	32.20	19.50	35.25	64.75
200	0.074	43.10	26.11	61.36	38.64
Pasa N° 200	0.01	63.80	38.64	100.00	0.00
TOTAL		165.10	100.00		

Tabla 26. Resultados de granulometría de la muestra 6.

**MUESTRA 7**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
10	2	0.10	0.06	0.06	99.94
20	0.84	2.20	1.40	1.46	98.54
40	0.42	14.20	9.02	10.48	89.52
60	0.25	19.10	12.13	22.60	77.40
100	0.149	39.10	24.83	47.43	52.57
200	0.074	37.50	23.81	71.24	28.76
Pasa N° 200	0.01	45.30	28.76	100.00	0.00
TOTAL		157.50	100.00		

Tabla 27. Resultados de granulometría de la muestra 7.

**MUESTRA 8**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
N° 4	4.76	0.60	0.33	0.33	99.67
10	2	0.20	0.11	0.45	99.55
20	0.84	0.60	0.33	0.78	99.22
40	0.42	5.20	2.90	3.68	96.32
60	0.25	27.00	15.07	18.75	81.25
100	0.149	56.00	31.25	50.00	50.00
200	0.074	51.60	28.79	78.79	21.21
Pasa N° 200	0.01	38.00	21.21	100.00	0.00
TOTAL		179.20	100.00		

Tabla 28. Resultados de granulometría de la muestra 8.

**CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO**

**MUESTRA 9**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
10	2	0.60	0.34	0.34	99.66
20	0.84	2.80	1.59	1.93	98.07
40	0.42	13.40	7.60	9.53	90.47
60	0.25	12.40	7.04	16.57	83.43
100	0.149	43.80	24.86	41.43	58.57
200	0.074	52.80	29.97	71.40	28.60
Pasa Nº 200	0.01	50.40	28.60	100.00	0.00
TOTAL		176.20	100.00		

Tabla 29. Resultados de granulometría de la muestra 9.

**MUESTRA 10**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
10	2	0.40	0.24	0.24	99.76
20	0.84	0.20	0.12	0.35	99.65
40	0.42	3.70	2.18	2.54	97.46
60	0.25	17.70	10.44	12.97	87.03
100	0.149	42.10	24.82	37.79	62.21
200	0.074	52.50	30.96	68.75	31.25
Pasa Nº 200	0.01	53.00	31.25	100.00	0.00
TOTAL		169.60	100.00		

Tabla 30. Resultados de granulometría de la muestra 10.

**MUESTRA 11**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
Nº 4	4.76	0.90	0.60	0.60	99.40
10	2	0.30	0.20	0.80	99.20
20	0.84	1.40	0.94	1.74	98.26
40	0.42	8.90	5.97	7.71	92.29
60	0.25	21.40	14.34	22.05	77.95
100	0.149	24.60	16.49	38.54	61.46
200	0.074	33.10	22.18	60.72	39.28
Pasa Nº 200	0.01	58.60	39.28	100.00	0.00
TOTAL		149.20	100.00		

Tabla 31. Resultados de granulometría de la muestra 11.

CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

**MUESTRA 12**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
10	2	0.50	0.29	0.29	99.71
20	0.84	11.50	6.61	6.90	93.10
40	0.42	14.90	8.56	15.46	84.54
60	0.25	14.50	8.33	23.79	76.21
100	0.149	50.30	28.91	52.70	47.30
200	0.074	44.10	25.34	78.05	21.95
Pasa Nº 200	0.01	38.20	21.95	100.00	0.00
TOTAL		174.00	100.00		

Tabla 32. Resultados de granulometría de la muestra 12.

**MUESTRA 13**

MALLA	ABERTURA (mm)	RETENIDO (grs)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
10	2	0.60	0.35	0.35	99.65
20	0.84	2.00	1.16	1.51	98.49
40	0.42	63.20	36.79	38.30	61.70
60	0.25	19.20	11.18	49.48	50.52
100	0.149	24.00	13.97	63.45	36.55
200	0.074	23.80	13.85	77.30	22.70
Pasa Nº 200	0.01	39.00	22.70	100.00	0.00
TOTAL		171.80	100.00		

Tabla 33. Resultados de granulometría de la muestra 13.

Cantidad de paja en los adobes					
Muestra	Peso de la muestra (gr)	Porcentaje de paja %	Muestra	Peso de la muestra (gr)	Porcentaje de paja %
M1	185.4		M8	184	1.00
M2	159.2		M9	179.6	0.06
M3	172.5		M10	174.2	0.77
M4	164	0.68	M11	152.4	0.27
M5	171.8		M12	175.4	0.23
M6	168.4	1.33	M13	173.2	
M7	161.4	1.84			

Tabla 34. Porcentaje de paja en cada muestra.

## RESUMEN DE GRANULOMETRÍA FINA

Los suelos clasifican como gruesos (gravas y arenas) cuando más del 50% queda retenido en la malla N°200, y se clasifican como finos cuando más del 50% pasa dicha malla. En la gráfica 5 puede observarse con mucha claridad que todas las muestras están clasificadas como arenas.

Es de suma importancia otorgar una clasificación más precisa a los agregados siguiendo los parámetros establecidos por los sistemas S.U.C.S. y AASHTO. En la tabla 36, se presentan los coeficientes de uniformidad, coeficientes de curvatura y el porcentaje que pasa el tamiz N° 200 de todos los adobes, con esos datos se obtiene la clasificación preliminar del suelo. El análisis granulométrico se hizo durante dos semanas, fue el proceso más estresante de todos los métodos de prueba porque el material debía secarse a 70 °C máximo ya que las altas temperaturas modifican la composición de los finos, es importante para hacer un diseño adecuado de la mezcla a usar en los bloques de adobe. La paja del adobe fue separada, se registró el peso y se calculó el porcentaje con respecto al peso total de la porción estudiada, el porcentaje de paja más alto se aproxima al 2 %.



Gráfica 5. Resumen clasificación granulométrica.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

Resumen de clasificación granulométrica							
Muestra	D <sub>10</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>60</sub>	Cu	Cc	Porcentaje de finos (pasa N° 200)	Clasificación S.U.C.S
1	0.044	0.19	0.56	12.73	1.47	14.27	SC
2	0.018	0.058	0.22	12.22	0.85	35.00	SM
3	0.046	0.12	0.23	5.00	1.36	15.47	SM
4	0.017	0.05	0.15	8.82	0.98	38.89	SM
5	0.02	0.07	0.22	11.00	1.11	31.23	SM
6	0.018	0.05	0.14	7.78	0.99	38.64	SM
7	0.021	0.08	0.18	8.57	1.69	28.76	SM
8	0.03	0.11	0.18	6.00	2.24	21.21	SM
9	0.022	0.08	0.17	7.73	1.71	28.60	SM
10	0.02	0.07	0.15	7.50	1.63	31.25	SM
11	0.018	0.049	0.15	8.33	0.89	39.28	SM
12	0.029	0.105	0.19	6.55	2.00	21.95	SM
13	0.026	0.12	0.4	15.38	1.38	22.70	SC

Tabla 35. Clasificación del material utilizando los coeficientes de uniformidad y los coeficientes de curvatura.

### 3.10 LÍMITES DE CONSISTENCIA

La prueba de límites de consistencia se realizó para 10 de las 11 muestras de adobe procedentes de Jojutla más las 2 muestras de suelos. La muestra 10 quedó excluida debido a la falta de material, ya que se necesitan 300 gramos para el experimento y la cantidad fue insuficiente. Esta fue la última prueba realizada a todas las muestras, realizando mínimo 2 ensayos, no obstante, como las muestras 1 y 13 son arcillas producto de la excavación de una edificación y de una ladrillera, ambas muestras fueron sometidas a 5 ensayos. Para obtener el límite líquido, en gran parte de los ensayos se utilizaron cinco rangos de número de golpes: 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 y 30-35, tomando como base las normas M-MMP-1-07-07 y NMX-C-493-ONNCCE-2018. Todo lo mencionado anteriormente se puede observar en las tablas 36 y 37.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

OBRA:	Tesis de titulación				FECHA :					
LOCALIZACIÓN:	Jojutla, Morelos				OPERADOR:					
SONDEO N°:	ENSAYE N°:	1, 2, 3, 4 y 5								
MUESTRA N°:	M1	PROF.:	---			CALCULO:				
DESCRIPCIÓN:										
LÍMITE LÍQUIDO										
PRUEBA N°	CAPSULA N°	N° DE GOLPES			PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (W)
-----	-----	-----	-----	-----	-----	gr	gr	gr	gr	%
1	42		12	10 a 15	39.26	25.08	14.18	8.57	16.51	85.89
1	21		13	10 a 15	35.80	23.60	12.2	8.40	15.2	
1	2		13	10 a 15	32.90	22.90	10	10.90	12	
2	36		15	15 a 20	37.20	24.00	13.2	8.20	15.8	83.54
1	3		15	10 a 15	37.10	25.30	11.8	9.90	15.4	
2	59		18	15 a 20	37.00	24.20	12.8	8.60	15.6	82.05
2	42 A		18	15 a 20	38.76	24.80	13.96	8.20	16.60	
2	19		20	15 a 20	33.20	22.70	10.5	10.10	12.6	
3	46		21	20 a 25	38.88	25.17	13.71	8.23	16.94	80.93
5	3		23	20 a 25	31.40	22.20	9.2	9.90	12.3	
3	39		23	20 a 25	35.20	23.30	11.9	8.50	14.8	
1	19		23	20-30	36.8	24.6	12.2	10.1	14.5	
3	58		25	20 a 25	33.40	22.60	10.8	8.60	14	
3	26		25	20 a 25	33.90	23.30	10.6	10.40	12.9	
4	46 A		25	20 a 25	41.49	26.34	15.15	8.36	17.98	
2	26		27	20-30	36.7	24.8	11.9	10.4	14.4	
4	71		28	25 a 30	31.70	23.00	8.7	11.80	11.2	
5	11		29	25 a 30	43.96	28.97	14.99	10.16	18.81	
4	29		30	25 a 30	37.50	27.90	9.6	15.50	12.4	77.42
4	28		30	25 a 30	38.90	26.60	12.3	11.70	14.9	
LÍMITE PLÁSTICO										
PRUEBA N°	CAPSULA N°	N° DE GOLPES			PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (W)
-----	-----	-----	-----	-----	-----	gr	gr	gr	gr	%
1	30				12.60	11.40	1.2	8.40	3	40.00
2	1				15.80	14.40	1.4	10.20	4.2	33.33
3	59				15.60	13.80	1.8	8.60	5.2	34.62
4	8				21.30	18.20	3.1	8.40	9.8	31.63
1	18				18.40	15.30	3.1	8.30	7	44.29
2	12				18.40	15.30	3.1	8.30	7	44.29
3	50				28.30	25.10	3.2	16.40	8.7	36.78
1	29				27.2	24.6	2.6	15.5	9.1	28.57
2	35				16.8	14.2	2.6	6.8	7.4	35.14
3	39				20.4	17.7	2.7	8.5	9.2	29.35
1	29				26.80	24.40	2.4	15.50	8.9	26.97
2	30				20.60	18.10	2.5	8.20	9.9	25.25
3	39				22.80	19.90	2.9	8.50	11.4	25.44
1	35				15.26	13.96	1.30	6.81	7.15	18.18
2	39				19.19	17.71	1.48	8.58	9.13	16.21
3	69				17.90	16.59	1.31	8.28	8.31	15.76

Tabla 36. Límites de consistencia.

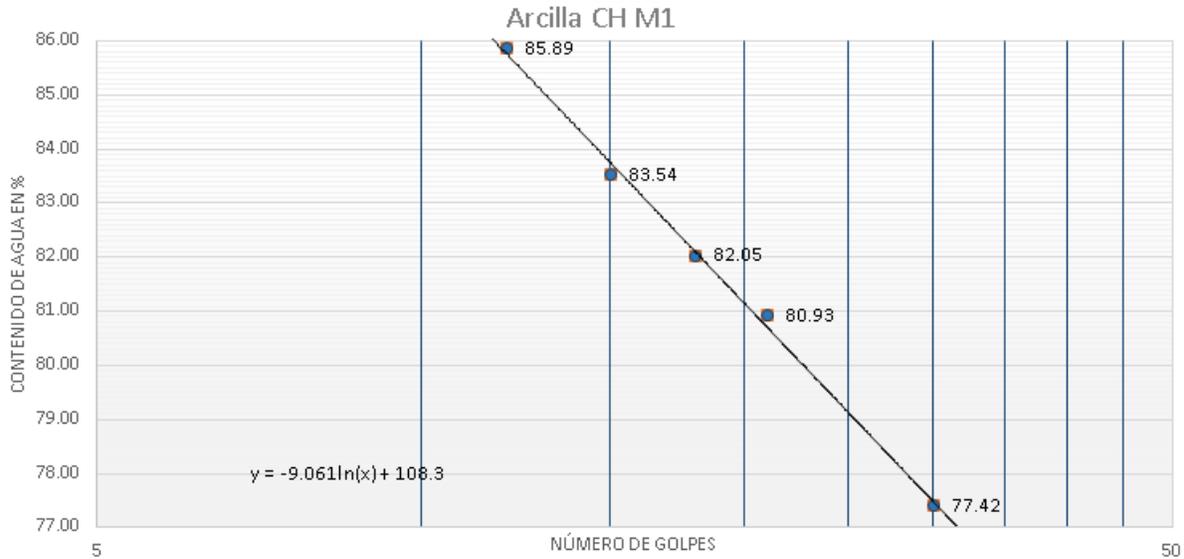
## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

CONTRACCIÓN LINEAL										
PRUEBA N°	CAPSULA N°	LONGITUD INICIAL			LONGITUD FINAL			CONTRACCIÓN LINEAL		
-----	-----	cm			cm			%		
1	10	10.10			7.92			21.58		
1	59	9.99			7.93			20.62		
1	56	10.05			7.83			22.09		
2	57	10.00			7.89			21.10		
1	56	10.05			8.02			20.20		
1	22	10.14			7.99			21.20		
CONTRACCIÓN VOLUMETRICA										
PRUEBA N°	CAPSULA N°	VOLUMENES			PESO DE LA CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO DE LA CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO DE LA CAPSULA	PESO DEL SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA (W)
		Vi	Vf	CV						
-----	-----	Cm <sup>3</sup>	Cm <sup>3</sup>	Cm <sup>3</sup>	-----	gr	gr	gr	gr	%
1	4	9.04	4.03	14.34	38.5	32.4	6.1	24.8	7.6	80.26
1	5	9.01	3.95	6.90	37.8	32.2	5.6	24.4	7.8	71.79
1	4	9.04	3.74	2.55	38.2	32.7	5.5	24.8	7.9	69.6
2	17	12.00	5.04	3.27	44.8	37.5	7.3	27.1	10.4	70.2
1	4	9.04	3.69	0.63	38.10	32.70	5.40	24.80	7.90	68.35
1	4	9.04	3.69	8.31	38.11	32.15	5.96	24.78	7.37	80.87

Tabla 37. Límites de consistencia.

Durante la realización de la prueba, surgieron muchos inconvenientes en cuanto a la obtención de resultados del límite líquido, esto es que entre menor sea el número de golpes el cierre de la ranura, mayor es el contenido de agua, en muchos ensayos no fue así. Por lo tanto, se decidió juntar todos los ensayos de una muestra, se graficó el contenido de agua y se eliminaron los puntos que tuvieron errores durante el cálculo del límite líquido, como se muestra en la gráfica 6, entonces para evitarlos se recomienda tomar las precauciones mencionadas en los apartados G.4 y H.4 de la norma M-MMP-1-07-07.

# CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO



Gráfica 6. Límite líquido a 25 golpes.

W (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CL (%)	CV (%)
	<b>79.13</b>	<b>25.89</b>	<b>53.25</b>	<b>21.10</b>	<b>3.27</b>

Tabla 38. Resultados de límites de consistencia a los 25 golpes.

## RESUMEN DE LOS LÍMITES DE CONSISTENCIA

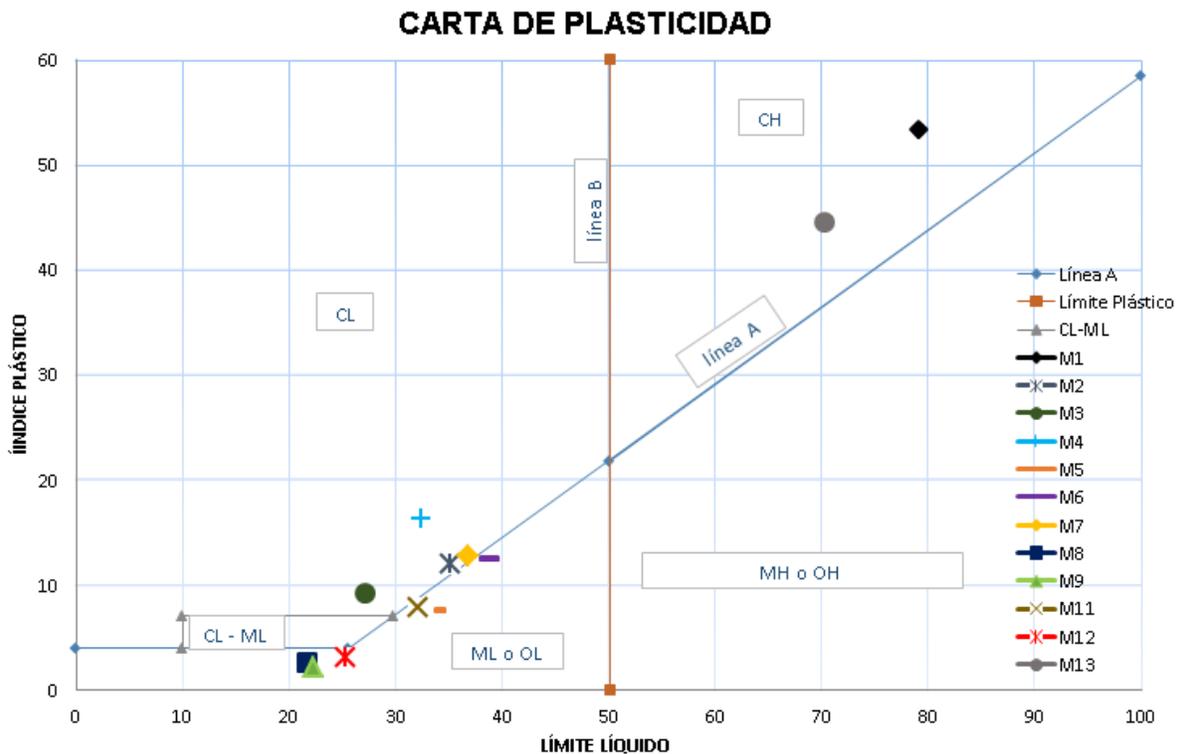
En la tabla 39 y la gráfica 7 se muestran los resultados de la prueba, antes de iniciarla fue bastante evidente que las muestras 1 y 13 son arcillas de alta plasticidad, como se menciona en el apartado de recolección de muestras, ambas fueron obtenidas de una excavación y una ladrillera.

Como se puede observar, el resto de las muestras son materiales de baja plasticidad, esto puede ser debido a que se agregan aditivos para estabilizar el material, es decir, evitar que la arcilla se expanda o se contraiga por la presencia de agua.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

Resultados de los Límites de Consistencia							
Material	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CL (%)	CV (%)	Clasificación SUCS	
M1	79.13	25.89	53.25	21.10	3.27	CH	Arcilla de alta plasticidad
M2	35.05	22.96	12.09	6.27	18.57	CL	Arcilla de baja plasticidad
M3	27.04	17.78	9.27	4.00	15.75	CL	Arcilla de baja plasticidad
M4	32.36	16.12	16.24	6.87	15.81	CL	Arcilla de baja plasticidad
M5	33.62	26.09	7.53	6.53	17.66	ML	Limo de baja plasticidad
M6	38.70	26.26	12.45	8.38	15.73	OL	Orgánico de baja plasticidad
M7	36.65	23.88	12.76	7.50	17.62	CL	Arcilla de baja plasticidad
M8	21.65	19.01	2.64	3.40	21.07	ML	Limo de baja plasticidad
M9	22.12	19.91	2.21	2.70	17.82	ML	Limo de baja plasticidad
M11	31.95	24.14	7.81	5.17	15.98	OL	Orgánico de baja plasticidad
M12	25.25	22.17	3.08	2.50	18.51	ML	Limo de baja plasticidad
M13	70.21	25.65	44.56	18.21	7.87	CH	Arcilla de alta plasticidad

Tabla 39. Resultados de límites de consistencia y clasificación con el sistema S.U.C.S.



Gráfica 7. Clasificación del material en la carta de plasticidad.

## 4 CONCLUSIONES

México es uno de los países en los que la tierra es ampliamente utilizada para construir viviendas, especialmente en las regiones con tradiciones y costumbres arraigadas desde la época prehispánica. Por ello pueden encontrarse grandes ejemplos de construcción de tierra como el ladrillo de adobe, el más utilizado debido a su bajo costo.

El problema es que las técnicas tradicionales de edificación están desapareciendo debido a la falta de interés de las autoridades y el surgimiento de nuevos materiales constructivos. Las casas construidas con ladrillos de adobe tienen muchos beneficios, como el bloque está hecho a base de arcilla, agua y materia vegetal no produce contaminación al medio ambiente, por lo tanto, la construcción en adobe es sustentable.

Mucho antes de la llegada de los europeos ya se utilizaba la tierra en edificaciones, posteriormente a la conquista hubo una mezcla de técnicas constructivas que sirvieron para levantar asentamientos urbanos hoy en día considerados patrimonio nacional y patrimonio cultural de la UNESCO, así que recuperar los conocimientos de construcción con adobes sería fundamental para la conservación de lugares patrimoniales.

Jojutla de Juárez, en Morelos, se localiza en una zona sísmica intermedia, a pesar de que los terremotos suceden con poca frecuencia, estos suelen ocasionar daños importantes en la estructura de las casas, dependiendo de la magnitud del sismo. Esta localidad morelense fue gravemente asediada por el sismo del 19 de septiembre de 2017, el cual afectó edificios de todo tipo, cuyos materiales de construcción incluyen adobes, provocando el colapso de estas viviendas. Es en esta parte donde se necesita la ayuda de expertos en la restauración de monumentos históricos usando materiales previamente estudiados a fondo que presenten buena respuesta ante fenómenos naturales.

Durante el trabajo de investigación de esta tesis de licenciatura se efectuaron una serie de pruebas con el fin de conocer un poco más las características del adobe que se emplea en las casas de Jojutla. Entre las pruebas consideradas de gran interés se ejecutó el estudio de colorimetría, con ella se identifica la mezcla arcilla-aditivo en porcentajes que incrementen la resistencia del elemento y tenga un color similar con los adobes del edificio a restaurar.

Los límites de consistencia fueron de gran valor porque se logró identificar con claridad el tipo de material que conforman los adobes de Jojutla, los ejemplares (excepto el 1 y el 13) se comportan como limos o arcillas de baja plasticidad, es un punto a favor ya que el ladrillo de tierra no debe tener materiales con variación en su comportamiento ante la presencia de humedad.

El esfuerzo a compresión simple es la prueba que más se ha hecho en otros trabajos de investigación, en esta tesis también fue uno de los principales objetos de estudio. Los resultados de esta prueba tienen valores bastante bajos, si se comparan con la resistencia a compresión de un tabique recocido que es de 60 kg/cm<sup>2</sup> según la norma NMX-C-404-2012. Los adobes que lograron los resultados más altos pertenecen la muestra 5 con 11.88 kg/cm<sup>2</sup> y 12.78 kg/cm<sup>2</sup>. Cabe destacar que los bloques analizados recibieron daños por las fuerzas sísmicas, también se mencionó en secciones anteriores que las construcciones de adobe tienen un periodo de vida útil que se puede prolongar haciendo un mantenimiento adecuado. Sin embargo, por la prospección realizada, la mayoría de las casas en Jojutla no lo recibían; además solo se conoce la antigüedad de una de las muestras que tiene más de doscientos años. Este conjunto de aspectos ya mencionados influyeron en la baja resistencia del adobe.

Se hizo una comparación de esfuerzo a compresión con otros proyectos de investigación en adobes de Guerrero, también con resultados bastante bajos; sin embargo con la información obtenida de los trabajos en el estado de Chiapas es todo lo contrario porque en sus experimentos el ladrillo de adobe muestran resistencias más altas que las de Jojutla, Morelos. Se trata de la tesis realizada

por Francisco José Cruz Farrera en el 2018, obtuvo un valor de resistencia en adobes de  $35.34 \text{ kg/cm}^2$ .

Como ya se mencionó en la introducción de este trabajo, existen muy pocas normas de mampostería en adobe alrededor del mundo, que fueron emitidas por países de nula vulnerabilidad a fenómenos naturales o están desactualizadas. Existen normas en Sudamérica como el Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda (ININVI) de Perú, y algunos criterios de construcción en Ecuador que en realidad no son normas oficiales, ambos establecen una resistencia en el adobe de  $12 \text{ kg/cm}^2$  y  $10 \text{ kg/cm}^2$ .

Sin embargo, México, siendo un país muy vulnerable a sucesos naturales, y con una tradición constructiva en tierra muy importante, no ha apostado por la creación de reglamentos de construcción de mampostería de tierra, tomando en cuenta el fuerte el impacto de grandes sismos como los de 1985 y el 2017. La propuesta de esta tesis de licenciatura es promover la investigación del comportamiento de construcciones de tierra ante eventos naturales en todos los grados académicos, de esta forma dar inicio a la estandarización de criterios para diseñar edificios de tierra.

Gran parte de la población sufre de escasez de recursos por lo que recurren a construir con materiales de bajo costo, entonces la vida de las personas se pone en riesgo por habitar inmuebles edificados evadiendo procesos constructivos y criterios de seguridad de la estructura. Por ello, es necesario implementar normas en estos procesos para facilitar la edificación de estructuras de adobe.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo Matus, R., Sánchez Tizapa, S., & Catalán Quiroz, P. (5 de Noviembre de 2013). Caracterización experimental de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe del sur de México. *Redalyc*, 17(3), 167-177.
- ASTM C597. (2009). *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*. USA: ASTM.
- ASTM D5731. (2008). *Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications*. USA: ASTM.
- ASTM D6276. (2012). *Standard Test Method for Using pH to Estimate the Soil-Lime Proportion Requirement for Soil Stabilization*. USA: ASTM.
- ASTM G57. (2012). *Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Werner Four-Electrode Method*. USA: ASTM.
- Bazán, E., Meli, R., & Padilla, M. (Junio de 1980). Seguridad de casas de adobe ante sismos. Estudio analítico. 423. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ingeniería.
- Berry, P. L., & Reid, D. (1993). *Mecánica de Suelos*. México: McGRAW-HILL.
- Catalán Quiroz, P., Moreno Martínez, J. Y., Galván, A., & Arroyo Matus, R. (10 de Abril de 2019). Obtención de las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe mediante ensayos de laboratorio. *Acta Universitaria*, 29, 1-13.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (12 de Diciembre de 2017). *Gobierno de México*. Obtenido de Gobierno de México: <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/que-es-un-sismo-y-por-que-sucedan>
- Ciencias Sociales CEUJA 2016. (2016 de Octubre de 2016). *Regiones sísmicas de México*. Obtenido de

<http://socialesceuja16.blogspot.com/2016/10/regiones-sismicas-de-mexico.html>

CIRES. (4 de Septiembre de 2015). *Centro de instrumentación y registro sísmico*. Obtenido de Epicentro del sismo de 1985: <https://blogcires.mx/tag/epicentro-del-sismo-de-1985/>

CIRES. (2015). *Centro de instrumentación y registro sísmico*. Recuperado el 2 de Febrero de 2020, de El sismo del 19 de septiembre de 1985: [http://www.cires.org.mx/1985\\_es.php](http://www.cires.org.mx/1985_es.php)

Climate Data. (2019). *Climate Data*. Obtenido de Climate Data: <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/morelos/jojutla-29664/>

CONEVAL. (2012). *Gobierno*. Obtenido de Gobierno: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/45724/Morelos\\_012.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/45724/Morelos_012.pdf)

Crespo Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México: Limusa.

Cruz Atienza, V. M., Krishna Singh, S., & Ordaz Schroeder, M. (23 de Septiembre de 2017). *Ciencia UNAM*. Recuperado el Enero de 2020, de ¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en Mexico?: <http://ciencia.unam.mx/leer/652/-que-ocurrio-el-19-de-septiembre-de-2017-en-mexico->

Cruz Farrera, F. (2018). *Propuesta de uso de tecnologías sismorresistente de adobe para una vivienda progresiva en Cuauhtémoc, municipio de Villaflores, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: Universidad Autónoma de Chiapas.

Díaz Fuentes, D. (2017). Un método simplificado para evaluar el riesgo sísmico y priorizar la atención de los bienes culturales inmuebles: el caso de Chile. *Intervención: Revista de Restauración, Conservación y Museología*(15), 46-62.

EAR Arquitectura de Tierra. (2015). *Patrimonio de Tierra*. Recuperado el 27 de Marzo de 2020, de EAR Arquitectura de Tierra: <https://eararquitecturadetierra.weebly.com/patrimonio-de-tierra.html>

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

EcuRed. (2013). *EcuRed*. Recuperado el 2013, de EcuRed: <https://www.ecured.cu/Color%C3%ADmetro>

Garrocho López, F. (2017). *Ensayos de compresión diagonal y compresión simple sobre mampostería de adobe*. Sevilla, Sevilla, España: Universidad de Sevilla.

Guerrero Baca, L. F. (2007). La pérdida de la arquitectura de tierra en México. *Heritage at risk 2006/2007*, 112-114.

Hacienda Morelos. (2017). *Diagnóstico municipal*. Obtenido de Diagnóstico municipal:

[https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu\\_planeacion/planea\\_estrategica/diagnosticos\\_municipales/2017-2/JOJUTLA2017.pdf](https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu_planeacion/planea_estrategica/diagnosticos_municipales/2017-2/JOJUTLA2017.pdf)

INAH Chihuahua. (2020). *Zona arqueológica Paquimé*. Recuperado el 30 de Marzo de 2020, de Instituto Nacional de Antropología e Historia centro INAH Chihuahua: <http://inahchihuahua.gob.mx/sections.pl?id=43>

INEGI. (2004). *Guía para la interpretación de cartografía: Edafología*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

INEGI. (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. *Jojutla, Morelos. Clave geoestadística 17012*. INEGI.

INEGI. (2020). *Temas*. Obtenido de Climatología: <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2017). *Mecánica de Suelos, Tomo 1: Fundamentos de Mecánica de Suelos*. México: Limusa.

Kienyke. (2020). *La ciudad que parece un castillo de arena*. Recuperado el 27 de Marzo de 2020, de Kienyke: <https://www.kienyke.com/viajes-k/la-ciudad-que-parece-un-castillo-de-arena>

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

Konica Minolta Sensing. (Septiembre de 2014). *Konica Minolta Sensing*. Obtenido de Konica Minolta Sensing: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>

La Voz de Michoacán. (17 de Agosto de 2018). *Inicia el embellecimiento del Centro Histórico de Pátzcuaro*. Recuperado el 30 de Marzo de 2020, de La Voz de Michoacán: <https://www.lavozdemichoacan.com.mx/regional/inicia-el-embellecimiento-del-centro-historico-de-patzcuaro/>

M. Das, B. (2002). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. México: Thomson Learning.

Manual de Mecánica de Suelos I. (2008). *Manual de Mecánica de Suelos I (7° Semestre)*. Morelia, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Martínez Molina, W., Torres Acosta, A. A., Alonso Guzmán, E. M., Chávez García, H. L., Lara Gómez, C., Bedolla, J. A., y otros. (2018). Colorimetry of clays modified with mineral and organic additives. *ALCONPAT*, 163-177.

Mayans, C. (19 de Junio de 2019). *Hace 9000 años las ciudades ya eran estresantes*. (N. Geographic, Editor) Recuperado el 27 de Marzo de 2020, de National Geographic: [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/hace-9000-anos-ciudades-ya-eran-estresantes\\_14435](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/hace-9000-anos-ciudades-ya-eran-estresantes_14435)

México Desconocido. (5 de Febrero de 2017). *Tips para viajar a Paquimé en Chihuahua*. Recuperado el 30 de Marzo de 2020, de México Desconocido: <https://www.mexicodesconocido.com.mx/tips-viajero-paquime-chihuahua.html>

Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra: La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Kassel, Alemania: Fin de siglo.

- Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior* (Third edition ed.). Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- M-MMP-1-06/03. (2003). *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- M-MMP-1-07/07. (2007). *Límites de Consistencia*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Navarro Sánchez, L., Martínez Molina, W., & Espinoza Mandujano, J. (2011). *Análisis de materiales* (Tercera ed.). (F. d. Civil, Ed.) Morelia, Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- NMX-C-083-ONNCCE-2014. (2014). *Industria de la construcción-Concreto-Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes-Método de ensayo*. México, México: ONNCCE.
- NMX-C-493-ONNCCE-2018. (2018). *Industria de la construcción-Geotécnia-Límites de consistencia de suelos-Método de ensayo*. México: ONNCCE.
- NMX-C-496-ONNCCE-2014. (2014). *Industria de la construcción-Geotécnia-Materiales para terracerías-Determinación de la composición granular*. México, México: ONNCCE.
- Overblog. (10 de Agosto de 2010). *Overblog*. Obtenido de Overblog: <http://egypt-circe.over-blog.es/article-he-estado-en-los-almacenes-del-ramesseum-y-no-he-visto-la-capilla-de-la-reina-blanca-xxxxxddd-55211509.html>
- Phillips Bernal, C., Yamín Lacouture, L., Reyes Ortiz, J., & Ruiz Valencia, D. (2007). Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada. *Apuntes: Revista de estudios sobre patrimonio cultural*, 286-303.
- QuimiNET. (15 de Marzo de 2012). *quiminet.com*. Recuperado el 2020, de quiminet.com: <https://www.quiminet.com/articulos/el-analisis-de-color-colorimetria-y-colorimetro-2704601.htm>

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

Revista Construye. (2020). *Arquitectura de tierra*. Recuperado el 11 de Marzo de 2020, de Revista Construye: <http://www.revistaconstruye.com.mx/noticias/2052-arquitectura-de-tierra.html>

Roux Gutiérrez, R., & Espuna Mújica, J. (2012). *Bloques de Tierra Comprimida adicionados con fibras naturales* (Primera ed.). Tampico, Tamaulipas, México: Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Ruíz Sibaja, J. A., & Vidal Sánchez, F. (Febrero de 2015). Caracterización mecánica de piezas de adobe fabricado en la región de Tuxtla Gutiérrez. *Espacio I+D*, 4(7), 129-154.

Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). *Gobierno de Mexico*. Obtenido de Riesgos geológicos: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>

Servicio Sismológico Nacional. (2017). *Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)*. México: UNAM.

Servicio Sismológico Nacional. (2020). *Sismicidad*. Obtenido de Mapa de sismicidad anual: <http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/mapas-de-sismicidad-anual/>

Servicio Sismológico Nacional. (2020). *UNAM*. Obtenido de Sismicidad: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/sismos-fuertes/>

Servicio Sismológico Nacional. (2020). *UNAM*. Obtenido de Divulgación: <http://www.ssn.unam.mx/divulgacion/preguntas/>

Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. (2020). *SMIS*. Recuperado el 1 de Febrero de 2020, de Sismicidad: <http://www.smis.org.mx/sismicidad.html>

Tarback, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física*. Madrid: Pearson Educación.

## CARACTERIZACIÓN Y PROPIEDADES ÍNDICE EN ADOBES DE JOJUTLA DE JUÁREZ, MORELOS, MÉXICO

---

- Tuareg-Travel. (2020). *Marrakech – Valle del Draa – Erg Chigaga, 3 días*. Recuperado el 27 de Marzo de 2020, de Tuareg-Travel: <https://www.tuareg-travel.com/salidas-desde-marrakech/marrakech-valle-del-draa-erg-chigaga-3-dias>
- UNAM. (19 de Septiembre de 2017). *Infografía*. Obtenido de El origen del sismo: <http://ciencia.unam.mx/contenido/infografia/6/el-origen-del-sismo-de-1985>
- van der Smissen, P. J. (2011). *La vida de las cosas, un estudio antropológico sobre el material de construcción tradicional adobe*. Madrid, Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Vargas Garza, J. J. (23 de Febrero de 2014). *La exHacienda de San José de la Goma*. Recuperado el 30 de Marzo de 2020, de El Siglo de Torreón: <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/965711.la-exhacienda-san-jose-de-la-goma.html>
- Vásquez Vera, A. (1997). *La evolución de la construcción en México, como consecuencia del sismo de 1985*. México: Academia mexicana de ingeniería.
- Visit México. (2020). *Pátzcuaro, Michoacán*. Recuperado el 30 de Marzo de 2020, de Visit México: <https://www.visitmexico.com/es/destinos-principales/michoacan/patzcuaro>
- World Heritage. (2007). *Adobe architecture in México*. Recuperado el 28 de Marzo de 2020, de World Heritage: [http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded\\_pics/1b-mexico-en.pdf](http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/1b-mexico-en.pdf)