



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

CAMPUS GUANAJUATO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

**DEPARTAMENTO DE MINAS, METALURGIA Y
GEOLOGÍA**

**“PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS DE
LADRILLOS DE ADOBE EN LOS EDIFICIOS DEL
SIGLO XVII, XVIII Y XX EN LA CIUDAD DE
GUANAJUATO, MÉXICO”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PRESENTA:

EDNA SOFÍA VENEGAS LONA

GUANAJUATO, GUANAJUATO, MÉXICO, Noviembre de 2016

DEDICATORIAS

Todo el proceso de estudio que he llevado a cabo en mi vida me ha requerido un gran esfuerzo, con muchos tropezones pero siempre he seguido firme y perseverante en el camino.

Es por eso que la culminación de este trabajo la dedico entera y exclusivamente a dos personas que han sido de suma importancia en mi vida y de quienes he tenido siempre apoyo en todo momento, a mis padres de corazón Angélica y Alberto.

“El triunfo del verdadero hombre nace de las cenizas del error”

-Pablo Neruda

AGRADECIMIENTOS

Durante el proceso de mis estudios he adquirido varias aptitudes, actitudes, valores y aprendizajes que han sido fundamentales para llevar una vida feliz y plena, todo esto antes mencionado se lo debo y agradezco a todas las personas que han pasado por mi vida, ya que cada una de ellas ha dejado cosas buenas y malas pero de las cuales he aprendido demasiado.

Quiero agradecer principalmente a mi familia María, Leonardo y Alberto por todo el apoyo y motivación incondicional que siempre me han brindado

A mi madre Angélica porque de ti he obtenido las mayores enseñanzas, tu presencia y apoyo incondicional ante toda adversidad.

A mis profesores por todo el aprendizaje, apoyo y la guía en los momentos difíciles durante mis años de carrera.

Al Laboratorio de Investigación y Caracterización de Minerales y Materiales (LICAMM) por el apoyo al permitirme hacer las pruebas necesarias para mi trabajo de tesis.

Sobre todo tengo un profundo agradecimiento a la Dra. María Jesús Puy Alquiza por la oportunidad, su tiempo, confianza y apoyo durante el proceso de mi carrera y por permitirme llevar a cabo el servicio profesional y mi tesis con ella.

ÍNDICE

DEDICATORIAS

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN.....2

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....5

1.1. Antecedentes.....9

1.2. Justificación.....12

1.3. Objetivo General.....13

CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....14

2.1. Localización del área de estudio.....14

2.2. Marco geológico.....14

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....15

3.1. Recopilación bibliográfica.....16

3.2. Etapa de Campo.....16

3.3 Etapa de Gabinete.....19

CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....19

4.1 Análisis mecánico de los adobes.....19

4.2. Análisis físico de los adobes.....26

4.3. Análisis químico de los adobes.....30

CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN.....35

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....39

ANEXOS.....42

RESUMEN

El presente trabajo muestra un estudio de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los adobes que fueron extraídos de ex haciendas del siglo XVII, XVIII Y XX del distrito minero Guanajuato, México, la cual representa las construcciones tradicionales existentes. Las muestras de adobe se sometieron a diferentes pruebas de investigación tales como Difracción de Rayos X, Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) y microscopía electrónica de barrido (SEM-EDX) con la finalidad de determinar la composición mineralógica y química, de igual manera se determinaron las propiedades mecánicas (resistencia a la compresión uniaxial) y propiedades físicas (color, densidad aparente y real, porosidad total, color de material orgánico, granulometría y capilaridad,).

Este estudio tuvo como finalidad establecer una base de conocimientos, esenciales para la evaluación de la seguridad de las construcciones de adobe y la contribución a la conservación de la arquitectura de adobe. Se seleccionaron y analizaron un total de siete muestras de las cuales seis corresponden a ex haciendas de beneficio y una casa habitación, ubicadas en el distrito minero de Guanajuato.

En los resultados analíticos indican que las siete muestras de adobe mostraron un comportamiento diferente dependiendo del análisis realizado. Las muestras de adobe tienen un mayor porcentaje de finos (70%). De acuerdo con el Sistema de Clasificación de Suelos unificada (USCS), los adobes estudiados corresponden a limos de baja compresibilidad. La Hacienda Nepomuceno del siglo XVIII, las Haciendas San Jerónimo, Hacienda Durán, Hacienda San Clemente, todas ellas del siglo XVII y la casa 1945, muestran valores bajos de resistencia, mientras que la Hacienda

Purísima del siglo XVIII y Hacienda Rayas del siglo XVII mostraron altos valores de resistencia.

En términos de materia orgánica y contenido de humedad, la Hacienda San Jerónimo (XVII) tiene el porcentaje más alto en materia orgánica (19,20%) con un contenido de humedad del 3,90%. En cuanto a la porosidad y la densidad, la casa, muestra una alta porosidad (55%) con respecto a las demás muestras, siendo su densidad (2,18 g / cm³). La Hacienda San Clemente (XVII), presenta una mayor densidad (2,37 g/cm³), siendo su porosidad (53,76%). Con respecto a la composición los datos de ICP-MS muestran que la Hacienda San Jerónimo (XVII) tiene un mayor contenido en Ni (76.85 mg g⁻¹), Co (12.10 mg g⁻¹), Sb (158.68 mg g⁻¹), y Cr (164.40 mg g⁻¹), mientras que la Hacienda San Clemente (XVII) presenta un mayor contenido de Cu (3671.18µg g⁻¹), Zn (6121,37 mg g⁻¹), y Pb (4347,66 mg g⁻¹). La Hacienda Duran (XVII) muestra un mayor contenido en Be (33.78 mg g⁻¹), la Hacienda Purísima (XVIII) presenta un mayor contenido en Th (3.18µg g⁻¹), mientras que la casa (XX), muestra valores altos en Sn (4.19 mg g⁻¹) y V (78.74 mg g⁻¹). Es importante mencionar que Hacienda Rayas y Hacienda Nepomuceno no presentan valores altos de ningún metal con respecto a las demás muestras. nta un mayor contenido de Cu (3671.18mg g⁻¹), Zn (6121,37 mg g⁻¹), y Pb (4347,66 mg g⁻¹). La Hacienda Duran (XVII) muestra un mayor contenido en Be (33.78 mg g⁻¹), la Hacienda Purísima (XVIII) presenta un mayor contenido en Th (3.18µg g⁻¹), mientras que la casa (XX), muestra valores altos en Sn (4.19 mg g⁻¹) y V (78.74 mg g⁻¹). Es importante mencionar que Hacienda Rayas y Hacienda Nepomuceno no presentan valores altos de ningún metal con respecto a las demás muestras.

Con respecto a los resultados obtenidos por análisis de fluorescencia de rayos x (XRF), la Hacienda San Jerónimo (XVII) presenta un mayor contenido en Mg (26700 mg g⁻¹), P (456 mg g⁻¹), Cr (196 mg g⁻¹), As (116 mg g⁻¹), Se (264 mg g⁻¹), Br (79,2 mg g⁻¹), Sr (186 mg g⁻¹), Ag (163 mg g⁻¹), Hg (

1740 mg g⁻¹). La hacienda Duran (XVII) sólo muestra los valores altos en Mn (1180 mg g⁻¹). La Hacienda Purísima (XVIII) muestra valores elevados de Ca (45400 mg g⁻¹) y Cu (1,540 mg g⁻¹).

La Hacienda San Clemente (XVII) en Al (59400 mg g⁻¹), Ti (4200 mg g⁻¹), Fe (20500 mg g⁻¹), y Sr (186 mg g⁻¹). La Hacienda Rayas (XVII), muestran valores altos en Si (283000 mg g⁻¹), y K (21000 mg g⁻¹). Mientras que la Casa (XX) muestra altos valores de S (21200 mg g⁻¹), Es importante mencionar que Hacienda Rayas y Hacienda Nepomuceno no presentan valores altos de cualquier metal con respecto a las demás muestra estudiadas.

Este estudio contribuye a la caracterización de adobes utilizados tradicionalmente en la ciudad de Guanajuato durante los siglos XVII, XVIII y XX, proporciona valores de referencia que pueden ser considerados en los procesos de la Restauración. Los elementos analizados por ICP-MS son diferentes a los analizados por XRF y se analizaron así para la economización de gastos.

Este estudio tuvo como finalidad establecer una base de conocimientos, esenciales para la evaluación de la seguridad de las construcciones de adobe y la contribución a la conservación de la arquitectura de adobe.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los bloques de adobe son un material común en los edificios prehistóricos, estos se utilizaron ampliamente durante miles de años por los pueblos indígenas de América, en el suroeste de los Estados Unidos, Mesoamérica, África, el subcontinente indio y otras partes de Asia, el Oriente Medio y el sur de Europa (Jiménez-Delgado y Canas-Guerrero, 2006; Houben y Guillard, 1994). La palabra "adobe" tiene sus raíces en un ladrillo que denota jeroglífico egipcio.

La cadena etimológica de eventos en última instancia produjo el árabe "al-Tob" o "al-Tob" (ladrillos secados al sol), que luego se extendió a España en la forma del verbo "adobar", es decir para embadurnar o yeso (Lumpkins, 1977).

La civilización egipcia fue el primero en utilizar la tierra como materia prima para la construcción 10 000 a.C (Heathcote, 1995; Kemp, 1999; Atzeni et al., 2007). Construcciones de 8000 a la de 6000 a.C se han encontrado en el Turquestán y Asiria (4000 a.C). A lo largo de la historia de México, la tierra también se ha utilizado como material básico de construcción en bruto, ejemplo de ello son el desarrollo de la arquitectura eficiente de los aztecas, del este de México, el Valle de Oaxaca, y las tierras bajas mayas. Los mayas de México y América Central desarrollaron ladrillo de adobe antes de la llegada de los españoles a principios del siglo XVI, aunque los indígenas de lo que hoy es el suroeste de Estados Unidos no utilizaron adobe hasta que el español introduce el material en la década de 1600.

Entre los primeros restos de estructuras de adobe son los descubiertos en las ruinas de aldeas agrícolas del Neolítico en Mesopotamia que datan desde el 7000 a.C (Steen, 1972). A través de conquistas españolas del Nuevo Mundo, la palabra de adobe fue llevado a las Américas.

Adobe fue llevado a España por los árabes durante su ocupación 800 años de la Península Ibérica. Durante el período colonial español, la mayoría de las construcciones de adobe erigidas fueron utilizadas para fines domésticos. (Smith y Austin, 1989). En Guanajuato las haciendas eran en un inicio mineras, los materiales constructivos eran en base al adobe y a la cantera. En el siglo XVII, las haciendas mineras se consolidaron como unidades económicas interdependientes que se llevaron a la abundante disponibilidad de mano de obra, en su mayoría indígenas, que fue recogido por las capitales españolas alrededor de la estrategia que facilitaron el proceso de dominación. Haciendas en México eran un sistema económico durante el período comprendido entre la Conquista y la Revolución Mexicana.

El origen de las haciendas en las que desarrollaron la agricultura y ganadería, se encuentra a finales del siglo XVI. Sucedió en un principio en lugares contiguos en los centros mineros con el fin de suministrarlos. Más tarde, en el siglo XVII, se consolidaron como unidades económicas interdependientes que se llevaron a la abundante disponibilidad de mano de obra, en su mayoría indígenas, que se hayan recogido por capitales españoles alrededor de la estrategia, lo que facilitó el proceso de dominación.

Las Haciendas en México eran un sistema económico durante el período comprendido entre la conquista y la Revolución mexicana. El origen se le dio a un sistema durante este tiempo, que concedió la tierra, por los conquistadores españoles y, a cambio de servicio militar. A medida que crecían las granjas se convirtieron en estados que eran autosuficientes y su principal objetivo era explotar la tierra y la custodia de los bandidos y saqueadores. El diseño y la arquitectura de las haciendas fueron determinados por la actividad desarrollada en el mismo. Las haciendas mexicanas también tenían grandes extensiones de terreno con área de

vivienda denominado casco de la hacienda. En el caso, la casa principal, el edificio más sobresaliente de una hacienda donde vivían los dueños de la hacienda se encuentra. La casa principal era generalmente en forma de L o U, alrededor de un patio rectangular con arcadas, rodeado de corredores que actúan como distribuidor a diferentes salas o habitaciones.

Además de la casa principal del casco de la hacienda tenía una capilla, las casas de los trabajadores, edificios administrativos, tienda, jardín, establos, corrales para el ganado, bodegas de almacenamiento de la cosecha. Y dependiendo de lo que se producía en la hacienda eran las instalaciones especiales que tenían, como pequeñas fábricas o molinos.

Según Francoi Chevalier se ha logrado clasificar a las haciendas de acuerdo a sus características geográficas y de producción:

a. La zona de las hacienda, gran propiedad, explotación de economía cerrada o semi cerrada dirigida al mercado local, regional o nacional a menudo con una parte importante de suelo reservada a la ganadería. Esta hacienda es el resultado de la fusión de la encomienda, de la estancia de ganado y de la estancia de labor, esta hacienda típica de mesetas mexicanas.

b. La zona de plantación, dirigido al mercado internacional, se encuentra en las llanuras costeras del trópico húmedo y eventualmente en las zonas húmedas de México.

Las haciendas de beneficio que son la causa de estudio, es un espacio dinámico, en el que la iniciativa de los ocupantes interviene de una manera determinante para darle vida, si es el caso una vez agotado el mineral, podrían estar agrupadas, formando un asentamiento, o una

comunidad, pero constituidas por unidades de producción independientes y separadas geográficamente, que con el tiempo, al desaparecer el beneficio de metales, se convierten en ranchos o integran un poblado.(Francois Chevalier ,1956)

Los principales materiales utilizados en su construcción son de cantera paredes de piedra y patios. Las paredes laterales eran de mampostería de adobe, techos con vigas de madera y techo de tejas de arcilla. El hombre prehispánico elaboraba los bloques de adobe adicionando a dichos materiales una serie de compuestos de origen litológico e incluso orgánico, denominados antipáticos o desgrasantes. Con estos productos modificaba, controlaba y estabilizaba diferentes propiedades inherentes al material (Rivera-Torres y Muños-Díaz, 2005). Un ejemplo de esta transformación es la incorporación de materiales orgánicos (pasto) en la pasta del suelo, lo que permitía una adecuada aglutinación, alta resistencia a la intemperie y además, evitaba que los bloques una vez solidificados, tendieran a agrietarse.

1.1 ANTECEDENTES

El área de estudio comprende seis ex haciendas de beneficio del Distrito Minero de Guanajuato siendo: San Juan Nepomuceno (XVIII), San Clemente (XVII), San José de Venitillas (De Duran) (XVII), La Purísima (XVIII), San Jerónimo (XVII), Rayas (XVII), y de una casa (XX), de acuerdo con el catálogo de edificios históricos, podemos decir que las haciendas se construyeron a finales del siglo XVII y principios del XVIII. En ese tiempo dichas haciendas contaban con capilla, galería, molinos, uno o más tinas de lavado, noria, almacenes, granero, cámaras, hornos, establos y mulas, así como todo lo necesario para el beneficio del mineral. (Martín Torres, 2001).

La Hacienda San Juan Nepomuceno está situada en el real de Marfil, que originalmente era un Zangarro conocido por el mismo nombre, fue construida en el siglo XVIII (Figura 1). En 1789, sus propietarios José Antonio de Lara (mineros y agricultores) y su esposa María Denise Barrera adquirieron una deuda de 14.000 pesos por la financiación de hipotecas. En 1799, Marciano Sardaneta (Marqués de Rayas) arrienda la propiedad de San Juan Nepomuceno con el de San Matías. En 1819, José Ignacio Rocha da una dote de 500 pesos Benigno militar es mucho para casarse con su hija María Ángela Rocha y en la bodega a su vez a esa mujer. Para ello se hipoteca la casa y la propiedad de Nepomuceno. En 1889 el Matías y la hacienda de San Juan Nepomuceno elenco fueron vendidos por su propietario el Dr. Manuel López Gutiérrez por Romualdo Marmolejo (Martín Torres, 2001).

La Hacienda San Clemente, ubicado en Villaseca, fue construido en el siglo XVII (Figura 1). En 1697 Juan de Hénderiz era el dueño del San Clemente, que tuvo que alquilar tres veces la hacienda para pagar sus deudas. En 1704, con el fin de saldar una deuda que tenía con el señor Cristóbal de Mendoza, alquiló la hacienda San Clemente al señor Manuel Aranda (Martín Torres, 2001).

La Hacienda San José de Venitillas (De Duran), se encuentra en Villaseca, construido en el siglo XVII (Figura 1). En 1696, después de la muerte de Francisco Busto y Jerez, su viuda doña Francisca Moya se enfrentó a varios problemas, el pago pendiente de las deudas de su marido y la necesidad de buscar nuevos créditos para continuar la explotación de sus minas (Cata, Mellado, El caliche y la Descubridora), debido a la falta de dinero Doña Francisca alquilan la mina San José Cata y el caliche su hermano-minera Damián de Villavicencio el contrato fue firmado por un período de seis años y el pago semi-anual de 1.000 pesos de ingresos. Por lo tanto, Francisca Moya logró pagar las deudas de su marido, la preservación de la herencia de sus hijos y aumentar sus activos al principio del siglo XVII (Martín Torres, 2001).

La Hacienda Purísima, se encuentra en Santiago de Marfil, fue construida en el siglo XVIII. En 1785, Don José Joaquín de Mata era dueño de la Hacienda Purísima; la hacienda se compone de la casa principal, galerías de molino, remolques, caballo de la rueda, y garaje. En 1788, la hacienda Purísima cambia de dueño, siendo el propietario Manuela María de la Pezuela, que arrienda en 1793 la hacienda de don José Manuel Llorente durante cinco años. En ese momento, la hacienda Purísima tenía dos dormitorios, asistencia, puerta, un oratorio sin adornos, las cocinas de dos molinos, establos, granero de la galera, un granero de maíz, una rueda de la fortuna.

La Hacienda San Jerónimo se encuentra en Pastita, fue construida en el siglo XVII (Figura 1). En las últimas décadas del siglo XVII, Francisco Gutiérrez de La Madrid construyó una gran hacienda desde hace algunas décadas y luego Gutiérrez llama San Jerónimo, un nombre que conservó hasta su extinción. En ese momento, la hacienda tenía dos molinos, dos tinajas de lavandería, una sala de lavandería, casas de vivienda, y sus tripulaciones (Rionda Arreguín, 2006).

La Hacienda Rayas, se encuentra en Rayas, (Figura 1), fue construida en el siglo XVII. La mina de San Juan de Rayas, que lleva el nombre del descubridor del convenio, el transportista Juan Raya, que después de trabajar durante algún tiempo se vendió a Diego de Ahedo y Partners. 16 de abril de, 1558 da empleos primera apertura de la mina de Rayas (Antúnez, 1964). La casa, se construyó en el siglo XX Se compone de un gran patio central con edificios a ambos lados, que se utilizaron para las habitaciones o para otros usos domésticos.

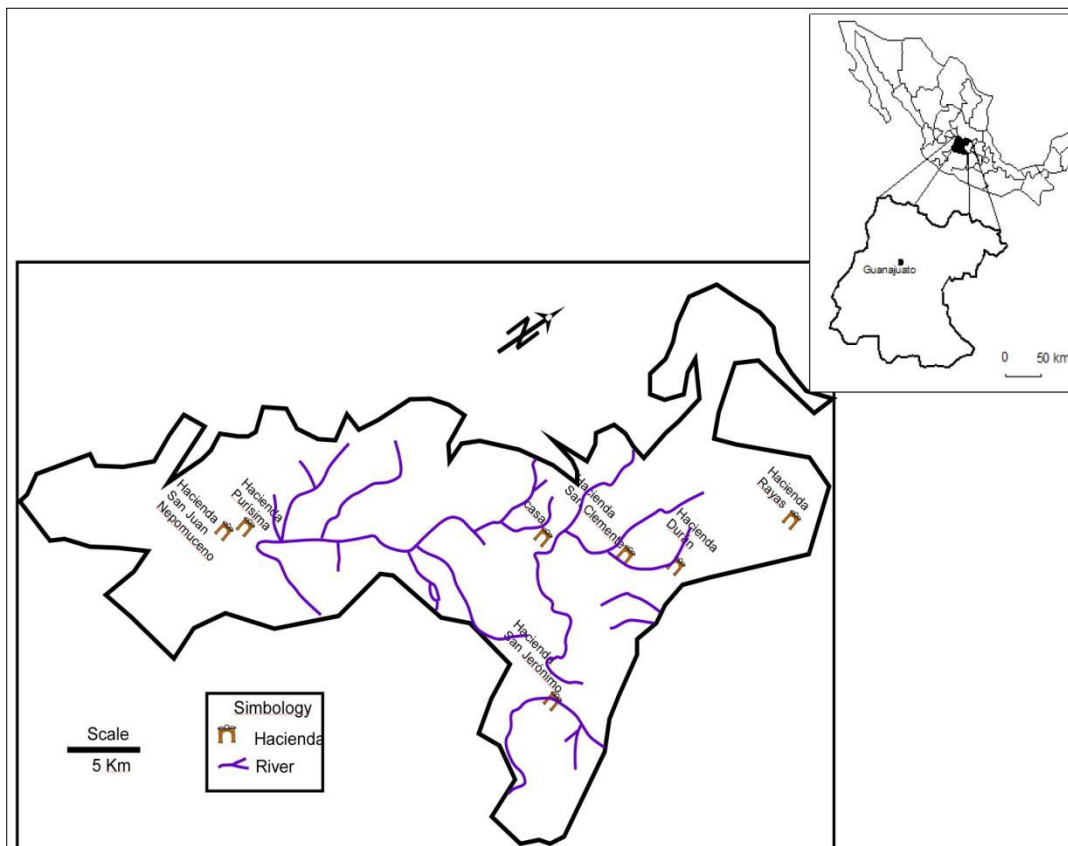


Figura1. Localización de los edificios estudiados

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de caracterizar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los materiales de construcción (adobe) utilizados en el siglo XVII, XVIII y XX en la ciudad de Guanajuato. El estudio de las edificaciones construidas a base de adobe es importante para comprender la evolución de los sistemas constructivos a base de tierra, conocer el comportamiento estructural de estos sistemas y proponer soluciones a la Problemática de la vivienda de bajos recursos distribuida en toda la extensión del territorio guanajuatense.

En Guanajuato, sobre todo en la capital, las estructuras de fábrica de adobe fueron el sistema constructivo predominante durante la primera mitad del siglo XVII, pudiéndose observar un gran número de edificios de “construcciones de tierra” que sobreviven, caracterizando la arquitectura y el paisaje urbano en los núcleos de esta ciudad, cerca de 30% de las construcciones existentes forman un conjunto significativo de construcciones de elevado valor histórico y arquitectónico. Los edificios de tierra (adobe) conforman una gran parte del patrimonio arquitectónico existente en la ciudad de Guanajuato. No obstante la recuperación de estas técnicas y su aplicación en los proyectos de restauración es muy limitada por razones económicas y por la escasez de conocimiento sobre este material ocasionando la aparición de nuevos problemas.

Los estudios y catalogaciones realizadas en las últimas décadas sobre el patrimonio arquitectónico en especial sobre la arquitectura popular muestran como la gran mayoría de “construcciones de tierra” existentes en la actualidad carecen de un revestimiento adecuado. Con base en ello, es importante mencionar que no existen estudios detallados que permitan conocer con certeza las características de estos revestimientos y su evolución a lo largo del tiempo. Los revestimientos (revocos de barro) o “embarrados” son una de las aplicaciones tradicionales que, por su baja

calidad o poca durabilidad en comparación con los revocos de otros materiales (cal, cemento o yeso) han sido considerados en estudios sobre los diferentes tipos de técnicas constructivas de tierra.

Los muros de tierra necesitan una protección frente a la erosión atmosférica cuando estos están expuestos a la intemperie ya sea mediante la aplicación de revocos o de otro tipo de tratamientos superficiales. En Guanajuato no se ha realizado ninguna investigación relacionada con dicho tema, por lo que dicho proyecto aportará datos sobre las características de los materiales en construcciones de tierra con la finalidad de conocer sus propiedades y en su caso poder proponer soluciones y técnicas de intervención que permitan, a través de la rehabilitación y/o refuerzo, prolongar la vida útil de estas estructuras.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Determinar las características físicas, mecánicas y químicas de las construcciones de tierra en los edificios del siglo XVII, XVIII y XX en la ciudad de Guanajuato, con la finalidad de proponer soluciones para su intervención.

CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los edificios del siglo XVI, XVII y XX se localizan en la ciudad de Guanajuato del estado de Guanajuato. Ubicado en el centro de la República Mexicana, la cual forma parte de las siguientes provincias fisiográficas: Sierra Madre Oriental, Eje Volcánico Transversal y Altiplanicie Mexicana. Las temperaturas medias anuales en general se encuentran entre 9 y 24°C, a excepción de las zonas altas donde son menores y en las zonas de baja altitud (básicamente cañones), donde son mayores. La precipitación total anual varía de 300 a más de 1000 mm, sin embargo, la mayor parte del área registra valores entre 450 y 700 mm (Eleazar Carranza, 2001). De acuerdo con las formas del relieve la superficie del estado se puede dividir en dos zonas: la porción centro-norte y nororiental con sierras en forma de meseta y sierras con altura de 2140 metros sobre el nivel del mar (msnm). Los edificios estudiados se encuentran localizados a lo largo del Distrito Minero de Guanajuato, en las localidades de Marfil, Cata, Mellado y Centro de la ciudad de Guanajuato.

La Hacienda San José Nepomuceno y Hacienda La Purísima se localiza en el camino antiguo de la zona de Marfil; Hacienda San Clemente y Hacienda San José de Venitillas (De Duran) en la zona de Cata; la Hacienda de Rayas en carretera panorámica mellado, y la Hacienda San Jerónimo y la Casa se localizan en la zona centro (Figura 1).

2.2. MARCO GEOLÓGICO

La mención del Conglomerado Guanajuato en este trabajo es de importancia ya que las haciendas de beneficio estudiadas fueron construidas sobre este mismo al igual que la mención de la Formación Losero, se utilizó para detalles y decoración en ventanas e interiores de las haciendas de beneficio, incluso se utilizó en los patios de las haciendas y por el cual en la actualidad se siguen utilizando en toda la ciudad de Guanajuato. Los siguientes autores Echevoyén- Sánchez y colaboradores (1970), Aranda-Gómez y Nieto-Samaniego (1989), Cerca-Martínez y colaboradores (2000), Alaniz-Álvarez y colaboradores (2001), (Edwards 1956) describieron al Conglomerado Guanajuato como un conglomerado polimíctico de color rojo, variando a color verde en algunos lugares. La matriz del conglomerado está constituida por productos de desintegración de varias rocas volcánicas, sobre todo cuarzo, feldespatos y arcillas, mezcladas con óxido de hierro que es lo que le da la coloración rojiza. La Formación Losero (Echevoyén-Sánchez et al., 1970), que yace, en forma concordante, sobre el Conglomerado Guanajuato se describió como una arenisca tobácea de composición riolítica de colores verde, rojo y morado de grano fino sub redondeados a angular y con espesor máximo de 25 cm. Consiste de material volcánico clástico del tamaño de arena fina a media, diferentes coloraciones rojo, morado y verde por alteración. La mayoría de sus granos son, cuarzo, plagioclasas, y fragmentos líticos de origen volcánico (Edwards, 1956). Los granos van de redondeados a sub redondeados; algunos líticos están cloritizados lo que le imprime coloración verde a la formación (Buchanan, 1980). El adobe Siendo de suma importancia al ser el objeto de estudio es una pieza para construcción hecha de una masa de barro (arcilla y arena) mezclada con paja, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol; con ellos se construyeron paredes y muros de las edificaciones de los siglos XVII, XVIII y XX.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En esta primera etapa de la metodología se recopiló toda la información bibliográfica antes de una salida al campo, y así tener un conocimiento más amplio para realizar un trabajo más fidedigno.

3.2. ETAPA DE CAMPO Y LABORATORIO

La realización de esta investigación consistió en varias etapas, en la Primera etapa se realizaron Salidas al campo con la finalidad de hacer un reconocimiento de los edificios. Tras estas salidas se ubicaron los siete edificios estudiados: San Juan Nepomuceno, San Clemente, San José de Venitillas (De Duran), La Purísima, San Jerónimo, Rayas, y de una casa 1945. Se tomaron muestras tanto de los adobes como de los revestimientos para analizar su composición química, propiedades físicas y mecánicas.

La segunda etapa consistió en la identificación de la diversidad tipológica de adobes en los edificios estudiados, en términos de composición y dimensiones.

En la tercera etapa se hizo una caracterización granulométrica donde el ensayo consistió en la separación de una muestra de material (400g) por medio de una serie de tamices (por tamaño de partícula mayor de 75 micras). Análisis, en diversas clases granulométricas (de granulometría decreciente). Cabe señalar que los tamices utilizados en este estudio pertenecen al análisis según la norma ASTM D2487-11. Se pesaron las fracciones retenidas en cada uno de los diferentes tamices, y se les asignó el porcentaje de masa total correspondiente. Por último, se procedió al trazado de las curvas de distribución granulométricas.

Se obtuvieron de igual manera datos como color en seco, color en húmedo, densidad aparente, densidad real, contenido de materia orgánica y porosidad total. Las pruebas de densidad aparente y real se llevaron a cabo en siete muestras utilizando la norma europea Norma UNE-EN 1936, (2006). Las siete muestras utilizadas para esta prueba se realizaron considerando una forma cúbica (8cm x 8 cm x 8 cm). La densidad aparente fue la siguiente (Ecuación 2): $P_b = \frac{m_d}{M_s - M_h} (P_{RH})$, donde (M_d) de la masa del espécimen seco en gramos; (M_s) la masa de la muestra en gramos saturadas; (M_h) masa de la muestra se sumerge en agua en gramo; (P_{RH}) la densidad del agua en kilogramo por metro cubico. La densidad real era la siguiente (Ecuación 3): $P_r = \frac{m_e}{V_s}$ es el volumen de líquido desplazado por los medio de m_i ; (P_{RH}) la densidad del agua en kilogramos por metro cubico. La prueba de porosidad total se llevaron a cabo en dieciséis muestras utilizando la norma europea Norma UNE-EN 1996(2006). La porosidad total se calculó mediante la relación entre el volumen de los poros (abierta y cerrada) y el volumen aparente de la muestra, con la ecuación 4: $p = (1 - p_b / p_r) \times 100$, donde (p_b) es la densidad aparente y (P_r) de densidad real.

Para la caracterización mecánica del adobe, resistencia a la compresión uniaxial se utilizaron probetas, extraídas por corte de los bloques del adobe recogidos de las construcciones muestreadas. Las siete muestras se prepararon de forma cubica (8cm x 8 cm x 8 cm). Estas pruebas se llevaron a cabo con el fin de determinar el valor máximo de la tensión alcanzada antes de la falla. Las pruebas mecánicas se realizaron tomando en cuenta las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (2004), la Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2000 y 2005) y la norma Europea Norma UNE-EN 1926, (2006). Se determinaron las características de la resistencia a compresión y flexión de las piezas de adobe, procesando estadísticamente los resultados a fin de obtener valores representativos del esfuerzo permisible a la compresión y flexión para este material de

construcción. Las pruebas se llevaron a cabo utilizando una prensa universal de 100 toneladas, se obtuvo el peso volumétrico promedio de las piezas ensayadas. El dispositivo de prueba (Universal Press aparato de Forney) permitió una carga axial máxima de 1471 kN. La carga axial se aumentó continuamente a una velocidad dentro de los límites de ruptura (1.336 kN). La carga y la tensión se registraron de forma continua; intervalo de tiempo de muestreo fue de entre 2 y 3 min.

En el análisis químico se determinó las concentraciones de metales pesados y elementos mayores de las muestras de adobe, tapiales y revestimiento, obtenidas de los edificios estudiados. Para ellos se aplicó el método de Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), donde se analizaron los elementos Ni, Cu, Co, Sn, Sb, Zn, Pb, Cr y V, este análisis químico se llevaron a cabo por acoplamiento inductivo espectrometría de masas de plasma (ICP-MS), utilizando un instrumento de la serie Thermo XII en el Centro de Geociencias-UNAM (Querétaro, México). Las muestras de adobe fueron aplastados previamente a un tamaño de 75 μm .

Análisis de fluorescencia de Rayos X. Se prepararon las muestras en polvo a un tamaño <75 micrones. Las muestras fueron analizadas con un Espectrómetro de Fluorescencia de rayos X Rigaku NEX CG mediante energía dispersión EDXRF. El espectrómetro tiene Tubo de rayos X con ánodo de Pd, Potencia máxima de 50W con Voltaje máximo de 50kV y en atmosfera de He. para este método se analizaron los elementos Mg, P, Cr, As, Se, Br, Sr, Ag, Hg, Mg, Ca, Al, Ti, Fe, Sr y S

Muestras de adobe fueron aplastados previamente a un tamaño de 75 μm . El análisis SEM-EDX, los aspectos morfológicos de las bellas fracciones UB (b4 μ) se investigaron por microscopio electrónico de barrido de observación (SEM) sin ningún recubrimiento de metal. El instrumento SEM (PEI PHILIPS-Quanta inspeccionar 200 LV) funcionó a 15 KV en un vacío bajo, mientras

que se utilizó el espectrómetro de escáner de dispersión de energía (EDAX Génesis) unido a las SEM para el análisis químico semi-cuantitativa.

3.3 ETAPA DE GABINETE

Esta es la última etapa del trabajo realizado en la cual fue indispensable la unión de todos los pasos anteriormente, recopilación bibliográfica, campo y laboratorio. Se describieron las salidas al campo los procesos y pruebas en el laboratorio, la recopilación de toda la investigación es plasmada y acomodada para el mejor entendimiento, por último se plasmaron los resultados y conclusiones de dicho trabajo.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS MECÁNICO DE LOS ADOBES

Resistencia a la Compresión Simple

Estas pruebas se llevaron a cabo en las muestras utilizando las orientaciones perpendiculares, posteriormente se realizó un estudio estadístico de análisis de la varianza para evaluar el comportamiento del material. Los resultados mostraron que los siete ladrillos analizados presentaron un comportamiento diferente.

El espécimen No 1. Hacienda San Jerónimo presenta una resistencia a la compresión simple de (5,44 Kg / cm²) siendo el mismo valor que el esfuerzo máximo y esfuerzo de ruptura mostrado en las Anexo 1 y 1.1. La

figura 2 muestra una curva constante y sin escalonamientos lo que representa el comportamiento elástico y dúctil de esta muestra de adobe, al llegar a su esfuerzo máximo se torna constante hasta su ruptura.

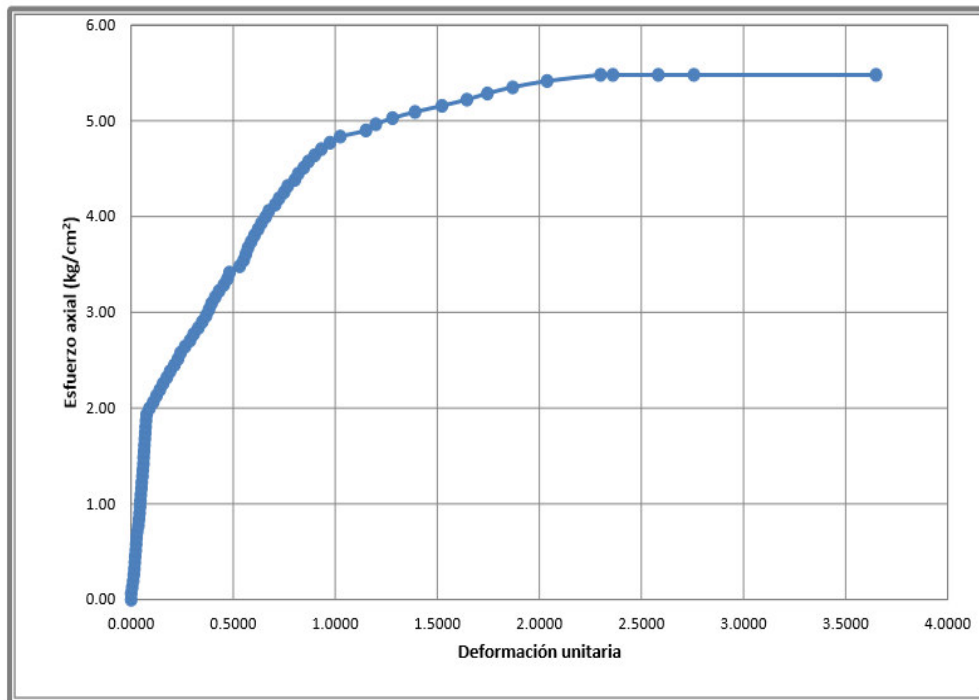


Figura 2. Curva esfuerzo-deformación espécimen No1. Ex Hacienda San Jerónimo.

El espécimen de la Hacienda Durán tuvo una resistencia a la compresión simple de (5,48 Kg / cm²). En las Anexo 2, 2.1 y 2.2. Se muestran todos los esfuerzos que se obtuvieron, así como el esfuerzo máximo y de ruptura que presenta el mismo valor ya mencionado. En el Figura 3. Se observa una curva constante y sin escalonamientos lo que representa que hubo pocas irregularidades y grietas preexistente en la muestra, el alargamiento de la curva muestra la elasticidad que tiene el adobe.

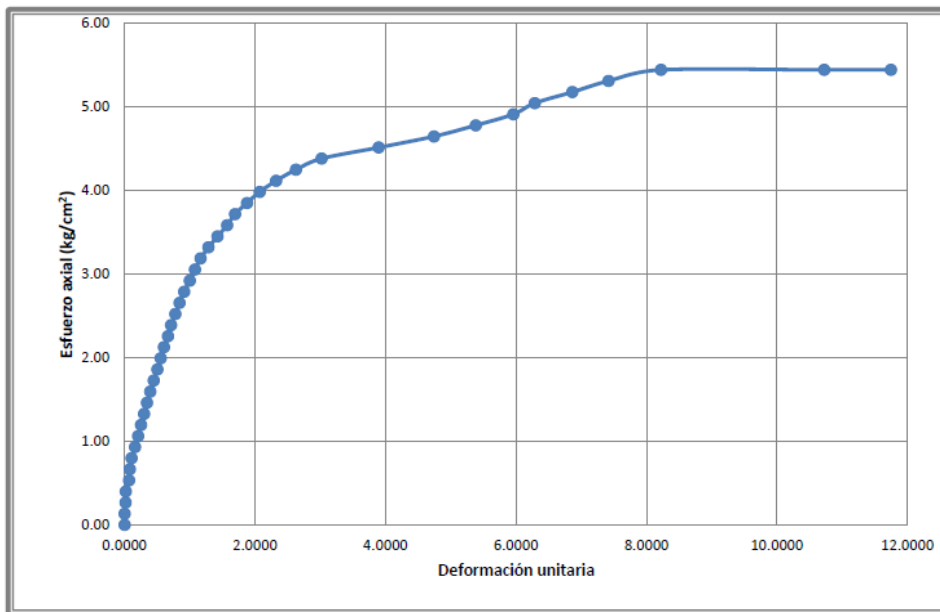


Figura 3. Curva esfuerzo- deformación espécimen No 2. Ex Hacienda Duarte.

El espécimen No 3. La Hacienda Purísima tuvo una resistencia a la compresión simple de (9,61 Kg / cm²), en las Anexo 3, 3.1 y 3.2. La Figura 4 muestra un comportamiento constante al inicio que es la parte elástica de la muestra, es decir, los esfuerzos son proporcionales, la curva de la gráfica es alargada por lo mismo mencionado anteriormente.

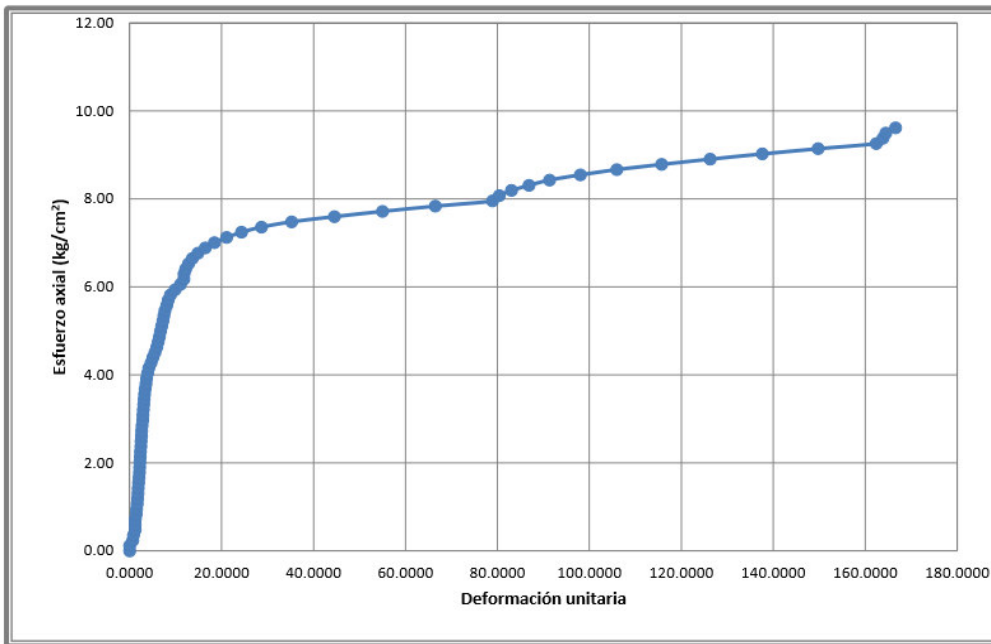


Figura 4. Esfuerzo- deformación espécimen No3. Ex Hacienda Purísima.

El espécimen No 4. La Hacienda San Clemente (7,11 Kg / cm²) mostró un valor de alta resistencia, el esfuerzo máximo y esfuerzo de ruptura son los mismos ya mencionado arriba Anexo 4, 4.1 y 4.2. La Figura 5 presenta un fuerte escalonamientos al inicio de la curva se deben a los poros contenidos en el material, la irregularidad de las caras de aplicación y grietas preexistentes en la muestra, después su comportamiento es constante o sensiblemente recto donde el material se comporta elástico ya que sus esfuerzos y deformaciones son proporcionales.

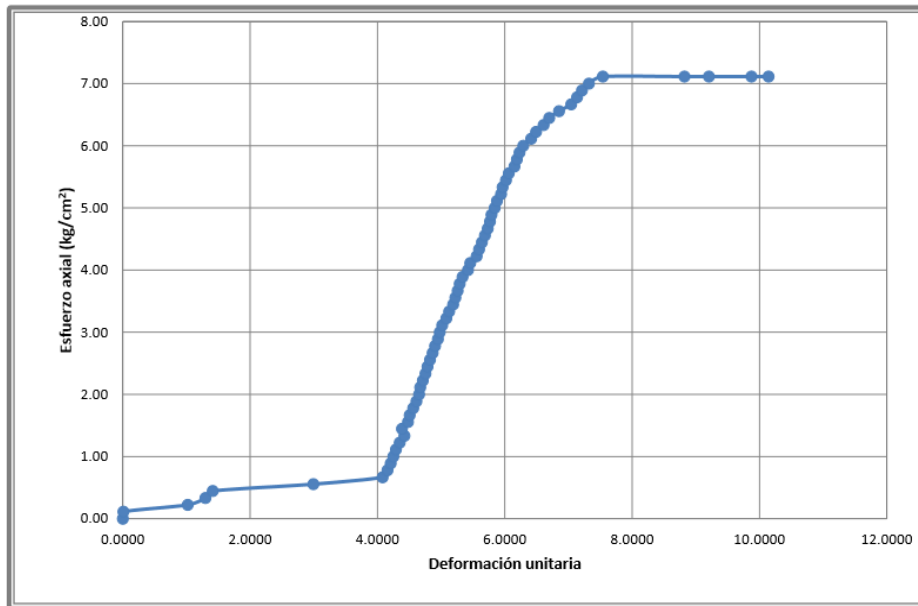


Figura 5. Esfuerzo-deformación espécimen No 4. Ex Hacienda San Clemente.

El espécimen No 5. Hacienda Rayas tuvo una resistencia a la compresión simple de (13,67 Kg / cm²) siendo la muestra que tuvo mayor resistencia, Anexo 5, 5.1, 5.2 y 5.3 en estas mismas se puede ver que el esfuerzo máximo fue de 12.07 kg/cm² que a diferencia de las demás haciendas el valor de esfuerzo máximo y esfuerzo de ruptura son diferentes también se observan todos los datos de esfuerzos y deformación unitaria. La Figura 6. Tiene un comportamiento al inicio constante debido a que la caras de la muestra fueron más regulares, la forma de la curva se muestra más alargada por la ductibilidad del adobe, presenta alta deformación antes de alcanzar su punto de ruptura.

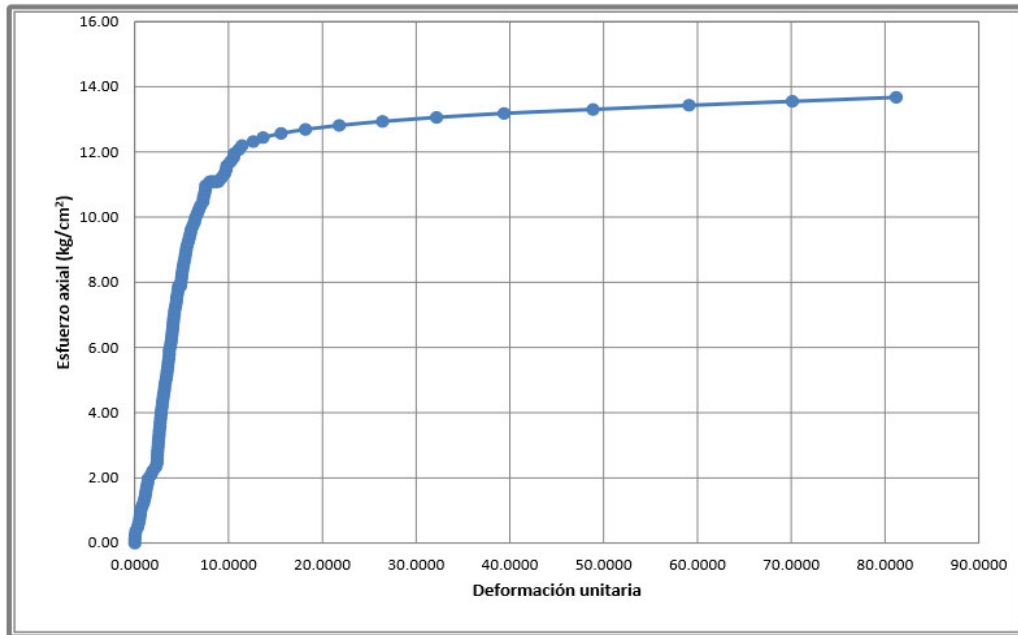


Figura 6. Esfuerzo-deformación espécimen No5. Ex Hacienda de Rayas.

El espécimen No 6. La Casa 1945 tuvo una resistencia a la compresión simple de (2,01 Kg / cm²) y es el edificio que obtuvo menor resistencia de todas, Anexo 6. Los escalonamientos presentes al inicio de la curva de la Figura 7. Se deben a los poros contenidos en el material, la irregularidad de las caras de aplicación y grietas preexistentes en la muestra, se observa un tramo sensiblemente recto donde el adobe se comporta como material elástico, es decir, los esfuerzos y deformaciones son proporcionales.

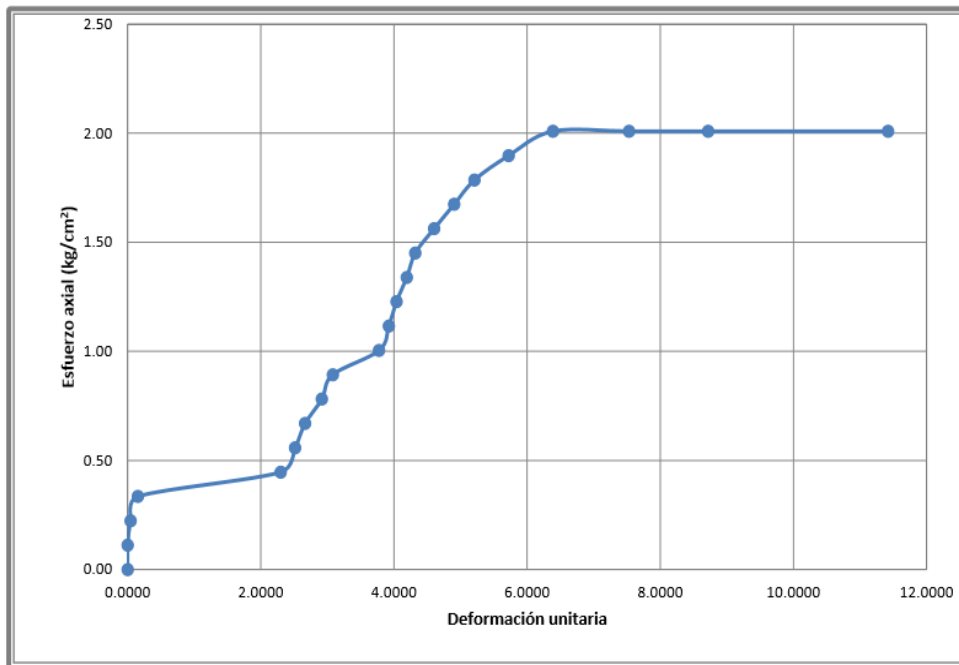


Figura 7. Esfuerzo-deformación espécimen No 6 La casa 1945.

El espécimen No 7. La Hacienda Nepomuceno tuvo una resistencia a la compresión simple de (4,32 Kg / cm²), Anexo 7 y 7.1. En la Figura 8. Se puede observar que al inicio tiene un escalón debido a las irregularidades presentes en la muestra de adobe, después de este salto la deformación se torna dúctil, vuelve a tener otro escalonamiento hasta su esfuerzo de ruptura donde permanece constante el valor. La forma de las curvas esfuerzo-deformación del adobe es típica de materiales dúctiles, es decir, aquellas que sufren varias deformaciones antes de fallar.

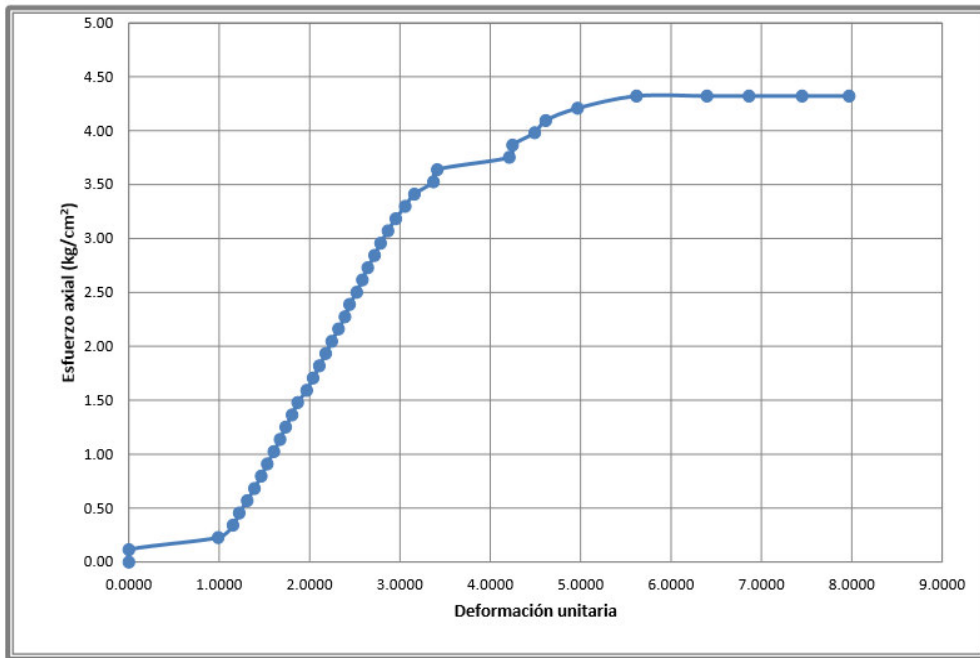


Figura 8. Esfuerzo-deformación espécimen No 7 Ex Hacienda Nepomuceno.

4.2. ANÁLISIS FÍSICO DE LOS ADOBES

GRANULOMETRÍA

La granulometría (tamaño de grano) es un aspecto fundamental a tener en cuenta para la caracterización de adobe ya que esto da una idea del tipo de materia prima utilizada originalmente para hacer los adobes. Los porcentajes ideales son 20% arcilla, un 80% tierra y los limos no deben superar el 20% ya que podrían debilitar el adobe, así que unos porcentajes buenos podrían ser 20% arcilla, 15% limos y 65% tierra. (Smith y Austin 1989, 1996). Los resultados del estudio de granulometría se muestran en la Tabla 8. El tamaño de grano fue de 0.25 a la 3.95% en peso de grava, de 10,01 a 23.12% en peso de arena y 73,36 a 87,94% en peso de limo y arcilla.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad, OL: Limos y arcillas orgánicas, CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad, MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.

Tabla 8. Límites de consistencia, granulometría y Sistema de Clasificación de Suelos unificada (SUCS) donde 1.Hacienda San Jerónimo 2.Hacienda de Duran, 3. Hacienda La Purísima, 4.Hacienda San Clemente, 5. Hacienda de Rayas, 6. Casa 1945, 7.Hacienda Nepomuceno.

Espécimen No.	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice plástico (%)	Contracción lineal (%)	Gravas (%)	Arenas (%)	Finos (%)	Clasificación SUCS
1	55.5	39.65	15.85	5.32	3.43	23.12	73.45	MH
2	37.76	25.54	12.22	2.71	0.25	17.87	81.87	ML
3	43.63	28.77	14.86	3.99	0.83	14.68	84.49	ML
4	35.02	21.98	13.04	2.67	2.05	10.01	87.94	CL
5	41.01	28.95	12.06	3.38	3.95	22.69	73.36	ML
6	43.3	29.34	13.95	4.56	0.26	19.86	79.89	ML
7	42.46	25.4	17.06	4.12	0.41	20.1	79.49	CL

LA DENSIDAD Y LA POROSIDAD TOTAL

La porosidad y la densidad total se indican en la Tabla 9. Las muestras de adobe mostraron valores de densidad similares en términos de valores de densidad aparente, el rango de valores mostrados por los ladrillos estudiados varían de (2.02 a 2.37 gr/cm³). La Porosidad es un parámetro importante debido a su influencia en las propiedades tales como la reactividad química, resistencia mecánica, durabilidad y la calidad general del ladrillo. La porosidad de los ladrillos de adobes estudiados varía de (49,47 a 55%). La presentación de mayor porosidad fue para la casa (55%).

Tabla 9. Se muestra porosidad y densidad total donde donde 1.Hacienda San jerónimo 2.Hacienda de Duran, 3. Hacienda La Purísima, 4.Hacienda San Clemente, 5. Hacienda de Rayas, 6. Casa 1945, 7.Hacienda Nepomuceno.

Espécimen No.	Peso volumétrico natural (kg/m ³)	Relación de vacíos "e"	Porosidad "n" (%)	Densidad "Ss"	Clasificación SUCS
1	1015	1.07	51.64	2.02	MH
2	1053	0.98	49.47	2.05	ML
3	1081	1.1	52.35	2.21	ML
4	1122	1.17	53.76	2.37	CL
5	1083	1.03	50.64	2.15	ML
6	1011	1.22	55	2.18	ML
7	1054	1.04	50.74	2.1	CL

CONTENIDO DE HUMEDAD Y CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

El contenido de humedad del material orgánico se muestra en las Tablas 10 y 11. La Hacienda San Jerónimo tiene el más alto contenido de humedad (3,80%), seguido de la Casa (2,91%), Hacienda Purísima (2,60%), Hacienda Rayas (2,29%), Hacienda San Clemente (2,18%), Hacienda Durán (1,90%) y la Hacienda Nepomuceno (1,85%). El mayor porcentaje de materia orgánica se presenta en la hacienda de San Jerónimo (19,20%), seguido de la hacienda Rayas (15.60), Hacienda Purísima y la Cámara (9,15%), hacienda Nepomuceno (8,96%), Hacienda San Clemente (7,58%) Hacienda Duran (5,21%).

Tabla 10. Se muestra el Contenido de humedad de cada espécimen donde 1.Hacienda San jerónimo 2.Hacienda de Duran, 3. Hacienda La Purísima, 4.Hacienda San Clemente, 5. Hacienda de Rayas, 6. Casa 1945, 7.Hacienda Nepomuceno.

Espécimen No.	Peso húmedo (grs)	Peso Seco (grs)	Contenido de humedad %
1	200	192.5	3.9
2	64.34	63.12	1.9
3	54.12	52.72	2.6
4	41.31	40.43	2.18
5	56.82	55.55	2.29
6	30.82	29.93	2.91
7	36.36	35.7	1.85

Tabla 11.Contenidos de materia orgánica de cada espécimen. Donde 1.Hacienda San Jerónimo 2.Hacienda de Duran, 3. Hacienda La Purísima, 4.Hacienda San Clemente, 5. Hacienda de Rayas, 6. Casa 1945, 7.Hacienda Nepomuceno.

Espécimen No.	Contenido de materia orgánica %
1	19.20
2	5.21
3	9.15
4	7.58
5	15.60
6	9.15
7	8.96

4.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS ADOBES

ANÁLISIS ICP-MS

Los elementos mayores y traza en las muestras de ladrillos, se muestran en la Tabla 12. En Hacienda San Jerónimo los valores resultantes corresponden con Ni (76.85 mg g^{-1}), Cu ($1160.78 \mu\text{g g}^{-1}$), Co (12.10 mg g^{-1}), Sn ($1,36 \text{ mg g}^{-1}$), Sb (158.68 mg g^{-1}), Zn ($291.86 \mu\text{g g}^{-1}$), Pb ($248.34 \mu\text{g g}^{-1}$), Cr ($164,40 \text{ mg g}^{-1}$) y V ($63.0323 \mu\text{g g}^{-1}$), respectivamente.

Para Hacienda Durán, los valores son Ni (15.04 mg g^{-1}), Cu ($1858,57 \text{ mg g}^{-1}$), Co (6.48 mg g^{-1}), Sn ($1,47 \text{ mg g}^{-1}$), Sb ($29,95 \text{ mg g}^{-1}$), Zn ($701,97 \text{ mg g}^{-1}$), Pb ($575,38 \text{ mg g}^{-1}$), Cr (24.80 mg g^{-1}), y V (50.33 mg g^{-1}).

Para la Hacienda Purísima, los valores son Ni (27.43 mg g^{-1}), Cu ($1731,99 \text{ mg g}^{-1}$), Co (8.88 mg g^{-1}), Sn ($2,31 \text{ mg g}^{-1}$), Sb ($89,24 \text{ mg g}^{-1}$), Zn ($407,56 \text{ mg g}^{-1}$), Pb ($344,74 \text{ mg g}^{-1}$), Cr (57.75 mg g^{-1}), y V (74.80 mg g^{-1}).

La Hacienda San Clemente tiene los siguientes valores, Ni (11.45 mg g^{-1}), Cu ($3671,18 \text{ mg g}^{-1}$), Co (4.93 mg g^{-1}), Sn ($1,71 \text{ mg g}^{-1}$), Sb ($32,24 \text{ g g}^{-1}$), Zn ($6121,37 \text{ mg g}^{-1}$), Pb ($4347,66 \text{ mg g}^{-1}$), Cr (22.76 mg g^{-1}), y V (42.67 mg g^{-1}). Para Hacienda Rayas, los valores son Ni ($15.42 \text{ g } 97 \text{ g}^{-1}$), Cu

(1078,57 mg g⁻¹), Co (6.12 mg g⁻¹), Sn (2,30 mg g⁻¹), Sb (44,59 g g⁻¹), Zn (509,64 mg g⁻¹), Pb (403,11 mg g⁻¹), Cr (30.53 mg g⁻¹), y V (55.66 mg g⁻¹).

Casa tiene los siguientes valores, Ni (22.22 mg g⁻¹), Cu (916,75 mg g⁻¹), Co (11.29 mg g⁻¹), Sn (4.19 mg g⁻¹), Sb (24.88 mg g⁻¹), Zn (423.4597 mg g⁻¹), Pb (1144,4497 mg g⁻¹), Cr (49,5597 g g⁻¹), y V (78,7497 g g⁻¹)

Mientras que la Hacienda Nepomuceno muestra los siguientes valores en Ni (9,2497 mg g⁻¹), Cu (1047,77 mg g⁻¹), Co (4.31 mg g⁻¹), Sn (1,87 97 g g⁻¹), Sb (49,3897 g g⁻¹), Zn (576,94 mg g⁻¹), Pb (531,90 mg g⁻¹), Cr (20.32 mg g⁻¹), y V (36.99 mg g⁻¹).

Concentraciones de metales pesados a partir de las muestras de adobe muestran una amplia gama de valores. Entre los metales analizados, Ni, Cu, Co, Sb, Zn, Pb, Cr y V muestran un mayor rango de variabilidad, mientras que Se, Sn y Th son los menos variable. La secuencia de la selectividad de los metales en el adobe estudiados fueron Zn> Cu> Pb> Cr> Sb> Ni> V> Se> Co> Sn> Th.

Tabla 12. Resultado de análisis químico de ICP-MS donde 1.Hacienda San Jerónimo 2.Hacienda de Duran, 3. Hacienda La Purísima, 4.Hacienda San Clemente, 5. Hacienda de Rayas, 6. Casa 1945, 7.Hacienda Nepomuceno.

Ex Haciendas	Be	Ni	Co	Cu	Sn	Zn	Sb	Pb	Th	Cr	V
1.HSJ	0,85335	768,595	121,074	1160,78	136,789	291,866	158,683	248,343	239,041	164,407	630,323
2.HD	33,788	15,044	64,898	1858,5	14,743	701,97	29,952	575,38	20,992	24,809	50,337
3.RSMT	13,651	27,430	88,800	1731,9	23,119	407,56	89,241	344,74	31,861	57,754	74,804
4.SC	12,60	11,454	4,937	3671,1	17,114	6121,3	32,240	4347,6	22,484	22,768	42,671
5.HR	10,730	15,421	61,268	1078,5	23,034	509,64	44,599	403,11	29,854	30,539	55,664
6.CASA	69,472	22,228	11,294	916,75	41,994	423,45	24,881	1144,4	31,501	49,559	78,748
7.HN	84,349	92,402	43,156	1047,7	18,701	576,94	49,381	531,90	31,405	20,321	36,997

ANÁLISIS DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Con respecto a los resultados obtenidos XRF, la Hacienda San Jerónimo presenta un mayor contenido en Mg (26700 mg g^{-1}), P (456 mg g^{-1}), Cr (196 mg g^{-1}), As (116 mg g^{-1}), Se (264 mg g^{-1}), Br ($79,2 \text{ mg g}^{-1}$), Sr (186 mg g^{-1}), Ag (163 mg g^{-1}), y Hg (1740 mg g^{-1}).

La hacienda Duran sólo muestra los valores altos de Mn (1180 mg g^{-1}).

La Hacienda Purísima muestra valores elevados de Ca (45400 mg g^{-1}).

Los presentes valores altos Hacienda San Clemente en Al (59400 mg g^{-1}), Ti (4200 mg g^{-1}), Fe (20500 mg g^{-1}), y Sr (186 mg g^{-1}).

La Hacienda Rayas, muestran valores altos en Si (283000 mg g^{-1}), y K (21000 mg g^{-1}).

Mientras que la Casa muestran altos valores de S (21200 mg g^{-1}).

Es importante mencionar que Hacienda Raya y Hacienda Nepomuceno sin presencia del alto valor de cualquier metal. Se analizaron los elementos por estos dos métodos XRF e ICP-MS para economizar los gastos del estudio.

Microscopía Electrónica de Barrido análisis (SEM-EDS)

El examen SEM reveló silicio / aluminio (Si / Al) partículas Ricos y C, Ca, Na, Mg, K y P en todos los ladrillos de adobe. Las presencias de fibras vegetales y polen son muy comunes en los adobes estudiados. En Hacienda Durán cantidades de Fe, Cu, Mo, S y Hg como la paja, se observó (Figura 9). En las cantidades de muestra Casa se observa Cu, Zn, Hg, Pb, S, Fe, es importante mencionar la presencia de partículas de polen. En Hacienda Nepomuceno hay presencia de Cu, Fe, Se, Br, Hg, S, Sn y Mo, como el polen. En Hacienda San Jerónimo, se observó Cu, Zn, Se y Hg, como el polen, hierba seca, y fibras vegetales. En Hacienda Rayas, Cu, Fe, S, Zn y Hg, como el polen, se observaron (Figura 9). En Hacienda Purísima Fe, Cu, S, e Ir, como el polen, hierba seca, y fibras vegetales, se observó. En Hacienda San Clemente, Fe, Cu, Pb, Sn, S, Zn y Hg, como el polen, hierba seca, y fibras vegetales, se observó (Figura 9).

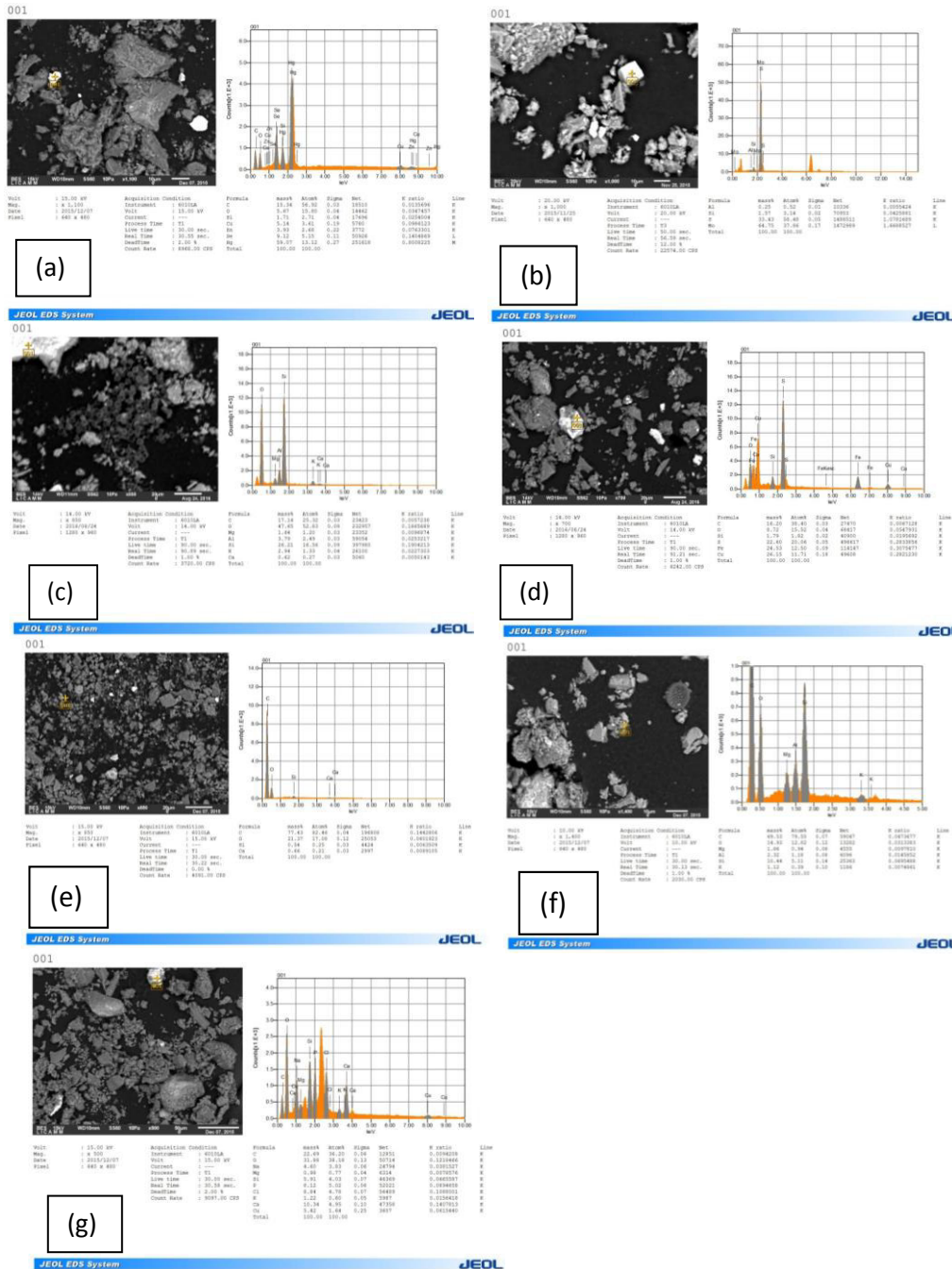


Figura 9. Ex Hacienda San Jerónimo (a), Ex Hacienda Durán (b), Ex Hacienda Purísima (c) Ex Hacienda San Clemente (d), Ex Hacienda Rayas (e), Casa 1945 (f), Ex Hacienda, Nepomuceno (g).

CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN.

Los ladrillos de adobe son uno de los materiales de construcción más antiguos y más ampliamente utilizados. El uso del adobe es muy común en América Latina, África, el subcontinente indio y otras partes de Asia, el Oriente Medio y el sur de Europa. Los resultados del presente estudio indican que los adobes de los edificios del siglo XVII, XVIII y XX en la ciudad de Guanajuato son de textura y composición similar.

En los resultados analíticos apoyan que las siete muestras de adobe mostraron un comportamiento diferente dependiendo de la propiedad probada. Las muestras de adobe tienen un mayor porcentaje de finos (70%). De acuerdo con el Sistema de Clasificación de Suelos unificada (USCS), los adobes estudiados corresponden a limos de baja compresibilidad. La Hacienda Nepomuceno, Hacienda San Jerónimo, Hacienda Durán, Hacienda San Clemente, y la casa, tenían valores de resistencia más bajos, mientras que Hacienda Purísima y Hacienda Rayas mostraron altos valores de resistencia (9.6 y 13.7 Kgcm⁻²).

En términos de materia orgánica y contenido de humedad, la Hacienda San Jerónimo tiene el porcentaje más alto en materia orgánica (19,20%) y (3,90%) en el contenido de humedad.

En cuanto a la porosidad y la densidad, la casa, tiene una porosidad más alta (55%) siendo su densidad (2,18 g / cm³), mientras que el Hacienda San Clemente tiene una mayor densidad (2,37 g / cm³), siendo su porosidad (53,76%).

Los datos de ICP-MS demuestran que la Hacienda San Jerónimo tiene un mayor contenido en Ni (76.85 mg g⁻¹), Co (12.10 mg g⁻¹), Sb (158.68 mg g⁻¹), y Cr (164.40 mg g⁻¹), mientras que la Hacienda San Clemente presenta un mayor contenido de Cu (3671.18µg g⁻¹), Zn (6121,37 mg g⁻¹), y Pb (4347,66 mg g⁻¹). La Hacienda Duran muestran un mayor contenido en Be (33.78 mg g⁻¹).

¹), la Hacienda Purísima presentan un mayor contenido en Th ($3.18\mu\text{g g}^{-1}$). La casa muestra valores altos en Sn (4.19 mg g^{-1}) y V (78.74 mg g^{-1}). Es importante mencionar que Hacienda Raya y Hacienda Nepomuceno sin presencia del alto valor de cualquier metal.

Con respecto a los resultados obtenidos XRF, la Hacienda San Jerónimo presenta un mayor contenido en Mg (26700 mg g^{-1}), P (456 mg g^{-1}), Cr (196 mg g^{-1}), As (116 mg g^{-1}), Se (264 mg g^{-1}), Br (79.2 mg g^{-1}), Sr (186 mg g^{-1}), Ag (163 mg g^{-1}), Sb (80.2 mg g^{-1}) y Hg (1740 mg g^{-1}). La hacienda Duran sólo muestra los valores altos de Mn (1180 mg g^{-1}). La Hacienda Purísima muestra valores elevados de Ca (45400 mg g^{-1}) y Cu ($1,540\text{ mg g}^{-1}$). Los presentes valores altos de la Hacienda San Clemente en Al (59400 mg g^{-1}), Ti (4200 mg g^{-1}), Fe (20500 mg g^{-1}), y Sr (186 mg g^{-1}). La Hacienda Rayas, muestran valores altos en Si (283000 mg g^{-1}), y K (21000 mg g^{-1}). Mientras que la Casa muestran altos valores de S (21200 mg g^{-1}), V (71.1 mg g^{-1}), Zn (793 mg g^{-1}), Sn (33.9 mg g^{-1}), y Pb (666 mg g^{-1}).

Es importante mencionar que Hacienda Raya y Hacienda Nepomuceno no presentan valores altos de metales. Este estudio contribuye a la caracterización de adobes utilizados tradicionalmente en la ciudad de Guanajuato.

Se concluye que las haciendas del siglo XVII Y XVIII tienen una resistencia a la compresión simple mucho mayor que la del siglo XX, en cuanto a densidad y porosidad todas las haciendas tienen valores muy semejantes, en las haciendas del siglo XVII se presenta mayor porcentaje de humedad y materia orgánica contenida en los adobes. Los datos químicos hechos a las muestras de las haciendas del siglo XX en Co, Sn, Pb y V presenta valores más elevados que las del siglo XVII y XVIII y por el contrario Be, Cu, Sb, Cr son más elevados en las haciendas de los siglos XVII y XVIII.

Las haciendas tienen una resistencia a la compresión simple de 5 kg/cm² en promedio a excepción de las haciendas de Raya y Purísima (13.66 y 9.61 kg/cm² respectivamente) que es mucho mayor que las demás por lo tanto se puede concluir que el método de fabricación y calidad de esos adobes fue lo que otorgo esa capacidad de resistencia.

La casa del siglo XX tiene la menor resistencia a la compresión simple, pero las propiedades físicas y química son semejantes a las de otras haciendas por lo tanto se concluye que el factor determinante fue la calidad de fabricación y no sus propiedades.

Todos los adobes estudiados tienen fibras de polen, hierba y plantas. Mezclar la hierba seca con arcilla permite la aglutinación adecuado gran resistencia a la intemperie y evita que los bloques una vez solidificados tiendan a agrietarse. La presencia de estos elementos proporciona pistas sobre la historia de la construcción de los edificios. Otro aspecto importante son las dimensiones que presentan los adobes, normalmente son proporciones de 1:2 entre la anchura y la longitud, que varían en espesor entre 6 y 10 cm, medidas que permitan un secado apropiado. Las proporciones más comunes son 6 x 15 x 30 cm, 10 x 30 x 60 cm, 7 x 20 x 40 cm. En nuestro caso de estudio los ladrillos que componen los edificios estudiados tienen diferentes dimensiones, tamaños decimoséptimo y vigésimo siglo son muy similares (12 x 35 x 45 cm), mientras que las dimensiones actuales del siglo XVIII, de 12 x 40 x 60 cm. Esto indica que cada propietario de las haciendas tenía su propia técnica para la preparación de los adobes. XRF y análisis de ICP-MS muestran que adobe ladrillos comparten la misma composición mineralógica, variando la concentración de metales pesados (Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, Co, V, Sb, Hg y Cr). Esto indica que el origen de las materias primas utilizadas para la fabricación de adobes es local, es decir, el beneficio derivado de la explotación minera de la época. Concentraciones de metales pesados a partir de las muestras de adobe muestran una amplia gama de valores. El Ni,

Cu, Co, Sb, Zn, Pb, Cr y V muestran un mayor rango de variabilidad, mientras que Se, Sn y Th son los menos variable. La secuencia de la selectividad de los metales en el adobe estudiados fueron Zn> Cu> Pb> Cr> Sb> Ni> V> Se> Co> Sn> Th.

Llegamos a la conclusión de un mayor conocimiento teórico y práctico sobre el Adobe de las haciendas mineras, es necesario analizar varias muestras de diferentes distritos mineros y de diferentes períodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranda-Gómez, J.J. y Nieto-Samaniego, A.F., 1989, Consideraciones acerca de la evolución tectónica durante el Cenozoico de la Sierra de Guanajuato y la porción meridional de la Mesa Central: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v.8 p. 33-46.

Achenza, M., Sanna, U., 2006, Il manuale tematico della terra cruda. Manuali di recupero dei centri storici della Sardegna: Cagliari, DEI, 126 p.

Atzeni, C., G. Pia, U. Sanna, N. Spanu, 2007. A fractal model of the porous microstructure of earth-based materials. Constructive Building Mater, 22, 1607-1613.

Antúnez, F. (1964), Monografía Histórica y Minera sobre el Distrito de Guanajuato, Distrito Federal, Consejo de Recursos Naturales no Renovables, 588 pp.

Buchanan, L.J., 1980, The las Torres Mine, Guanajuato, México Ore controls of a Fossil Geothermal System, 138 p.

Edwards, J.D., 1956, Estudio sobre algunos de los Conglomerados Rojos del Terciario Inferior del centro de México: XX Congreso Geológico Internacional, México 1956, 75 p.

Echegoyén Sánchez, J., Romero-Martínez, S., Velázquez-Silva, S., 1970, Geología y yacimientos minerales de la parte central del distrito minero de Guanajuato: Boletín Consejo de Recursos Minerales no Renovables 75, 36 pp.

Echegoyén Sánchez, J., Cantero Pérez, E., Guerrero Álvarez, H., Calixto, J.M., 1975, Estudio geológico preliminar de la zona de Arperos, Gto., a Comanja de Corona, Jal.: Guanajuato, México: Consejo de Recursos Naturales no Renovables, Technical report, 14 pp.

Edward W. Smith and George S. Austin, 1989. Adobe, pressed-earth, and rammed-earth industries in New Mexico. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, a division of new mexico institute of mining & technology. Bulletin 127, 60pp.

Francois chevalier, 1956, la formación de los grandes latifundios en México. Tierra y sociedad en los siglos XVI-XVII", en *Problemas agrícolas e industriales de México*, vol. VIII, no.1, 291 p.

Heathcote, K.A.,1995. Durability of earthwall buildings. *Constructions Building Mater*, 9, 185-189.

Houben, H. and Guillaud, H., 1994. *Earth Construction: A Comprehensive Guide*, ITDG Publishing, London, UK.

Jiménez-Delgado, M.c., Canas- Guerrero, 2006. Earth building in Spain. *Construction Building Mater*, 20, 679-690.

Kemp,B.,1999. Soil (Including Mud-Brick Architecture). In: *Ancient Egyptian Materials and Technology*, Nicholson, P.T. and I. Shaw (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 0521452570, 79-103 pp.

Lumpkins,W.,1977. Adobe (from the Arabic Atobe): unpublished paper, Museum of New Mexico, Santa Fe, New Mexico, 25 pp.

Martin-Torres, E. (2001), *El beneficio de la plata en Guanajuato 1686-1740*, Guanajuato, Presidencia Municipal de Guanajuato, 257 pp.

Rionda- Arreguín, I. (2006), *El barrio de Pastita de la ciudad de Guanajuato*, Guanajuato, Presidencia Municipal de Guanajuato y Dirección Municipal de Cultura, 110 pp.

Smith, E.W., Austin, G.S., 1989. Adobe, Pressed-Earth, and Rammed-Earth Industries in New Mexico. *Bulletin* 127.

Smith, E.W., Austin, G.S., 1996. Adobe, Pressed-Earth, and Rammed-Earth Industries in New Mexico. Revised edition. Socorro: New Mexico bureau of mines and mineral resources.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2000). Normas de construcción: Muestreo y Pruebas de materiales. Parte Segunda, Tomo IX, México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2005). N-CMT-2-01-001/02, Ladrillos y bloques cerámicos (CMT Características de los materiales, parte 2). México.

Steen, C. R., 1977, Pajarito Plateau Archaeological Survey and Excavations: Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, New Mexico, LASL-77-4, 70 pp.

ANEXOS

Anexo1. Lecturas de deformación del espécimen No. 1 de la Ex Hacienda San Jerónimo.

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.

FECHA DE PRUEBA:

DATOS DEL ESPÉCIMEN:

LADO "L1" (cm): 8.65 LADO "L2" (cm): 8.71 AREA (cm²): 75.31 ALTURA PROMEDIO (cm): 7.92 PESO (grs.): 455.0

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
0.0000	0	0.0	0.00	0.00	0.55235	150	1.47	1.99	0.20
0.00016	10	0.1	0.13	0.01	0.60397	160	1.57	2.12	0.21
0.01400	20	0.2	0.27	0.03	0.66463	170	1.67	2.26	0.22
0.01818	30	0.3	0.40	0.04	0.71239	180	1.77	2.39	0.23
0.06923	40	0.4	0.53	0.05	0.77800	190	1.86	2.52	0.25
0.07887	50	0.5	0.66	0.07	0.84282	200	1.96	2.66	0.26
0.10600	60	0.6	0.80	0.08	0.91264	210	2.06	2.79	0.27
0.16034	70	0.7	0.93	0.09	0.99952	220	2.16	2.92	0.29
0.20602	80	0.8	1.06	0.10	1.07862	230	2.26	3.05	0.30
0.25160	90	0.9	1.20	0.12	1.16562	240	2.35	3.19	0.31
0.29918	100	1.0	1.33	0.13	1.28672	250	2.45	3.32	0.33
0.34278	110	1.1	1.46	0.14	1.42525	260	2.55	3.45	0.34
0.39333	120	1.2	1.59	0.16	1.57300	270	2.65	3.59	0.35
0.44552	130	1.3	1.73	0.17	1.69286	280	2.75	3.72	0.36
0.50263	140	1.4	1.86	0.18	1.87538	290	2.84	3.85	0.38

Anexo 1.1 continuación de tabla 1

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.

FECHA DE PRUEBA:

DATOS DEL ESPÉCIMEN:

LADO "L1" (cm): 8.65 LADO "L2" (cm): 8.71 AREA (cm²): 75.31 ALTURA PROMEDIO (cm): 7.92 PESO (grs.): 455.0

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
2.07068	300	2.9	3.98	0.39					
2.32115	310	3.0	4.12	0.40					
2.62631	320	3.1	4.25	0.42					
3.02016	330	3.2	4.38	0.43					
3.89414	340	3.3	4.51	0.44					
4.74117	350	3.4	4.65	0.46					
5.38187	360	3.5	4.78	0.47					
5.95896	370	3.6	4.91	0.48					
6.28825	380	3.7	5.05	0.49					
6.86441	390	3.8	5.18	0.51					
7.41868	400	3.9	5.31	0.52					
8.22268	410	4.0	5.44	0.53					
10.72483	410	4.0	5.44	0.53					
11.74743	410	4.0	5.44	0.53					

Anexo 2. Lecturas de deformación del espécimen No. 2 Ex Hacienda Duran

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 5 KG DE CARGA.

FECHA DE PRUEBA:

DATOS DEL ESPÉCIMEN:

LADO "L1" (cm): 8.92 LADO "L2" (cm): 8.70 AREA (cm²): 77.58 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.68 PESO (grs.): 697.1

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
0.0000	0	0.0	0.00	0.00	0.04348	75	0.74	0.97	0.09
0.00002	5	0.0	0.06	0.01	0.04550	80	0.78	1.03	0.10
0.00500	10	0.1	0.13	0.01	0.04752	85	0.83	1.10	0.11
0.01006	15	0.1	0.19	0.02	0.05055	90	0.88	1.16	0.11
0.01312	20	0.2	0.26	0.03	0.05258	95	0.93	1.22	0.12
0.01615	25	0.2	0.32	0.03	0.05561	100	0.98	1.29	0.13
0.01819	30	0.3	0.39	0.04	0.05764	105	1.03	1.35	0.13
0.02021	35	0.3	0.45	0.04	0.05966	110	1.08	1.42	0.14
0.02223	40	0.4	0.52	0.05	0.06069	115	1.13	1.48	0.15
0.02426	45	0.4	0.58	0.06	0.06270	120	1.18	1.55	0.15
0.02628	50	0.5	0.64	0.06	0.06472	125	1.23	1.61	0.16
0.02930	55	0.5	0.71	0.07	0.06675	130	1.27	1.68	0.16
0.03534	60	0.6	0.77	0.08	0.06877	135	1.32	1.74	0.17
0.03805	65	0.6	0.84	0.08	0.07079	140	1.37	1.80	0.18
0.04144	70	0.7	0.90	0.09	0.07282	145	1.42	1.87	0.18

Anexo 2.1 continuación de tabla 2.

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 5 KG DE CARGA.

FECHA DE PRUEBA:

DATOS DEL ESPÉCIMEN:

LADO "L1" (cm): 8.92 LADO "L2" (cm): 8.70 AREA (cm²): 77.58 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.68 PESO (grs.): 697.1

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
0.07584	150	1.5	1.93	0.19	0.34878	225	2.21	2.90	0.28
0.08987	155	1.5	2.00	0.20	0.36702	230	2.26	2.96	0.29
0.10804	160	1.6	2.06	0.20	0.38123	235	2.30	3.03	0.30
0.12424	165	1.6	2.13	0.21	0.39439	240	2.35	3.09	0.30
0.14043	170	1.7	2.19	0.21	0.41154	245	2.40	3.16	0.31
0.15662	175	1.7	2.26	0.22	0.43074	250	2.45	3.22	0.32
0.17580	180	1.8	2.32	0.23	0.45396	255	2.50	3.29	0.32
0.19103	185	1.8	2.38	0.23	0.47223	260	2.55	3.35	0.33
0.21220	190	1.9	2.45	0.24	0.48144	265	2.60	3.42	0.33
0.22944	195	1.9	2.51	0.25	0.53155	270	2.65	3.48	0.34
0.24264	200	2.0	2.58	0.25	0.55112	275	2.70	3.54	0.35
0.26380	205	2.0	2.64	0.26	0.56235	280	2.75	3.61	0.35
0.28904	210	2.1	2.71	0.27	0.57248	285	2.79	3.67	0.36
0.30633	215	2.1	2.77	0.27	0.58760	290	2.84	3.74	0.37
0.32853	220	2.2	2.84	0.28	0.60377	295	2.89	3.80	0.37

Anexo 2.2. Continuación de tabla 2

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 5 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 8.92 LADO "L2" (cm): 8.70 AREA (cm²): 77.58 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.68 PESO (grs.): 697.1

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
0.62196	300	2.9	3.87	0.38	1.02422	375	3.68	4.83	0.47
0.63817	305	3.0	3.93	0.39	1.15080	380	3.73	4.90	0.48
0.65935	310	3.0	4.00	0.39	1.19826	385	3.78	4.96	0.49
0.67460	315	3.1	4.06	0.40	1.28080	390	3.82	5.03	0.49
0.70577	320	3.1	4.12	0.40	1.39076	395	3.87	5.09	0.50
0.72513	325	3.2	4.19	0.41	1.52302	400	3.92	5.16	0.51
0.74935	330	3.2	4.25	0.42	1.64455	405	3.97	5.22	0.51
0.76763	335	3.3	4.32	0.42	1.74495	410	4.02	5.28	0.52
0.80184	340	3.3	4.38	0.43	1.86910	415	4.07	5.35	0.52
0.81824	345	3.4	4.45	0.44	2.03753	420	4.12	5.41	0.53
0.84643	350	3.4	4.51	0.44	2.29947	425	4.17	5.48	0.54
0.86875	355	3.5	4.58	0.45	2.35949	425	4.17	5.48	0.54
0.89901	360	3.5	4.64	0.46	2.58218	425	4.17	5.48	0.54
0.93136	365	3.6	4.70	0.46	2.75675	425	4.17	5.48	0.54
0.97373	370	3.6	4.77	0.47	3.64876	425	4.17	5.48	0.54

Anexo 3. Lecturas de deformación del espécimen No. 3 de la Ex Hacienda Purísima.

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 8.89 LADO "L2" (cm): 9.48 AREA (cm²): 84.25 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.16 PESO (grs.): 674.5

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
0.0000	0	0.0	0.00	0.00	2.11413	150	1.47	1.78	0.17
0.00081	10	0.1	0.12	0.01	2.17991	160	1.57	1.90	0.19
0.68101	20	0.2	0.24	0.02	2.23871	170	1.67	2.02	0.20
0.86335	30	0.3	0.36	0.03	2.30244	180	1.77	2.14	0.21
1.18758	40	0.4	0.47	0.05	2.36922	190	1.86	2.26	0.22
1.19155	50	0.5	0.59	0.06	2.43803	200	1.96	2.37	0.23
1.23860	60	0.6	0.71	0.07	2.50088	210	2.06	2.49	0.24
1.41518	70	0.7	0.83	0.08	2.56665	220	2.16	2.61	0.26
1.52934	80	0.8	0.95	0.09	2.63845	230	2.26	2.73	0.27
1.63174	90	0.9	1.07	0.10	2.70333	240	2.35	2.85	0.28
1.71600	100	1.0	1.19	0.12	2.82513	250	2.45	2.97	0.29
1.80203	110	1.1	1.31	0.13	2.88162	260	2.55	3.09	0.30
1.87108	120	1.2	1.42	0.14	2.96631	270	2.65	3.20	0.31
1.93922	130	1.3	1.54	0.15	3.06535	280	2.75	3.32	0.33
2.05076	140	1.4	1.66	0.16	3.16357	290	2.84	3.44	0.34

Anexo 3.1. Continuación tabla

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 8.89 LADO "L2" (cm): 9.48 AREA (cm²): 84.25 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.16 PESO (grs.): 674.5

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
21.07806	600	5.9	7.12	0.70	126.26813	750	7.35	8.90	0.87
24.31931	610	6.0	7.24	0.71	137.60940	760	7.45	9.02	0.88
28.68803	620	6.1	7.36	0.72	149.74539	770	7.55	9.14	0.90
35.22057	630	6.2	7.48	0.73	162.40112	780	7.65	9.26	0.91
44.55962	640	6.3	7.60	0.74	163.85221	790	7.75	9.38	0.92
54.98707	650	6.4	7.71	0.76	164.45799	800	7.85	9.50	0.93
66.48586	660	6.5	7.83	0.77	166.57242	810	7.94	9.61	0.94
78.93578	670	6.6	7.95	0.78					
80.40735	680	6.7	8.07	0.79					
83.05438	690	6.8	8.19	0.80					
86.86182	700	6.9	8.31	0.81					
91.32748	710	7.0	8.43	0.83					
98.05421	720	7.1	8.55	0.84					
105.96564	730	7.2	8.66	0.85					
115.71960	740	7.3	8.78	0.86					

Anexo 3.2. Continuación tabla

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 8.89 LADO "L2" (cm): 9.48 AREA (cm²): 84.25 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.16 PESO (grs.): 674.5

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
3.25077	300	2.9	3.56	0.35	7.44741	450	4.41	5.34	0.52
3.38084	310	3.0	3.68	0.36	7.66227	460	4.51	5.46	0.54
3.53743	320	3.1	3.80	0.37	8.04990	470	4.61	5.58	0.55
3.69435	330	3.2	3.92	0.38	8.35765	480	4.71	5.70	0.56
3.90227	340	3.3	4.04	0.40	8.88142	490	4.81	5.82	0.57
4.18382	350	3.4	4.15	0.41	9.90484	500	4.90	5.93	0.58
4.65827	360	3.5	4.27	0.42	11.05038	510	5.00	6.05	0.59
5.05409	370	3.6	4.39	0.43	11.78942	520	5.10	6.17	0.61
5.49094	380	3.7	4.51	0.44	11.82748	530	5.20	6.29	0.62
5.89629	390	3.8	4.63	0.45	12.18294	540	5.30	6.41	0.63
6.21926	400	3.9	4.75	0.47	12.81630	550	5.39	6.53	0.64
6.47322	410	4.0	4.87	0.48	13.66306	560	5.49	6.65	0.65
6.70833	420	4.1	4.98	0.49	14.86244	570	5.59	6.77	0.66
6.95721	430	4.2	5.10	0.50	16.44814	580	5.69	6.88	0.68
7.21426	440	4.3	5.22	0.51	18.44657	590	5.79	7.00	0.69

Anexo 4. Lecturas de deformación del espécimen No.4 Ex Hacienda San Clemente.

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 9.50 LADO "L2" (cm): 9.47 AREA (cm²): 89.99 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.16 PESO (grs.): 799.0

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
0.0000	0	0.0	0.00	0.00	4.50490	150	1.47	1.67	0.16
0.00759	10	0.1	0.11	0.01	4.56221	160	1.57	1.78	0.17
1.01909	20	0.2	0.22	0.02	4.61191	170	1.67	1.89	0.19
1.29749	30	0.3	0.33	0.03	4.65252	180	1.77	2.00	0.20
1.41190	40	0.4	0.44	0.04	4.67202	190	1.86	2.11	0.21
2.99430	50	0.5	0.56	0.05	4.71326	200	1.96	2.22	0.22
4.08169	60	0.6	0.67	0.07	4.75476	210	2.06	2.33	0.23
4.15602	70	0.7	0.78	0.08	4.78727	220	2.16	2.44	0.24
4.20593	80	0.8	0.89	0.09	4.82567	230	2.26	2.56	0.25
4.24754	90	0.9	1.00	0.10	4.86514	240	2.35	2.67	0.26
4.29105	100	1.0	1.11	0.11	4.90562	250	2.45	2.78	0.27
4.34959	110	1.1	1.22	0.12	4.94812	260	2.55	2.89	0.28
4.42230	120	1.2	1.33	0.13	4.97964	270	2.65	3.00	0.29
4.38591	130	1.3	1.44	0.14	5.01602	280	2.75	3.11	0.31
4.47975	140	1.4	1.56	0.15	5.08147	290	2.84	3.22	0.32

Anexo 4.1. Continuación tabla 4

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 9.50 LADO "L2" (cm): 9.47 AREA (cm²): 89.99 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.16 PESO (grs.): 799.0

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
5.12727	300	2.9	3.33	0.33	5.84198	450	4.41	5.00	0.49
5.18883	310	3.0	3.44	0.34	5.87759	460	4.51	5.11	0.50
5.22259	320	3.1	3.56	0.35	5.94303	470	4.61	5.22	0.51
5.26000	330	3.2	3.67	0.36	5.96383	480	4.71	5.33	0.52
5.29146	340	3.3	3.78	0.37	6.01809	490	4.81	5.45	0.53
5.33585	350	3.4	3.89	0.38	6.06275	500	4.90	5.56	0.54
5.42139	360	3.5	4.00	0.39	6.15030	510	5.00	5.67	0.56
5.45744	370	3.6	4.11	0.40	6.19037	520	5.10	5.78	0.57
5.55888	380	3.7	4.22	0.41	6.23086	530	5.20	5.89	0.58
5.59512	390	3.8	4.33	0.43	6.28936	540	5.30	6.00	0.59
5.63957	400	3.9	4.45	0.44	6.41308	550	5.39	6.11	0.60
5.68811	410	4.0	4.56	0.45	6.49059	560	5.49	6.22	0.61
5.73071	420	4.1	4.67	0.46	6.61054	570	5.59	6.33	0.62
5.76723	430	4.2	4.78	0.47	6.69701	580	5.69	6.45	0.63
5.79168	440	4.3	4.89	0.48	6.85107	590	5.79	6.56	0.64

Anexo 4.2. Continuación tabla

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 9.50 LADO "L2" (cm): 9.47 AREA (cm²): 89.99 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.16 PESO (grs.): 799.0

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
7.04496	600	5.9	6.67	0.65					
7.13634	610	6.0	6.78	0.66					
7.21346	620	6.1	6.89	0.68					
7.32140	630	6.2	7.00	0.69					
7.53872	640	6.3	7.11	0.70					
8.82139	640	6.3	7.11	0.70					
9.20511	640	6.3	7.11	0.70					
9.87381	640	6.3	7.11	0.70					
10.14300	640	6.3	7.11	0.70					

Anexo 5. Lecturas de deformación del espécimen No.5 Ex Hacienda de Rayas.

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 8.80 LADO "L2" (cm): 9.23 AREA (cm²): 81.18 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.76 PESO (grs.): 749.5

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
0.0000	0	0.0	0.00	0.00	1.36452	150	1.47	1.85	0.18
0.00017	10	0.1	0.12	0.01	1.43058	160	1.57	1.97	0.19
0.04700	20	0.2	0.25	0.02	1.73433	170	1.67	2.09	0.21
0.10554	30	0.3	0.37	0.04	1.93980	180	1.77	2.22	0.22
0.30120	40	0.4	0.49	0.05	2.24614	190	1.86	2.34	0.23
0.41844	50	0.5	0.62	0.06	2.37264	200	1.96	2.46	0.24
0.50278	60	0.6	0.74	0.07	2.39308	210	2.06	2.59	0.25
0.58074	70	0.7	0.86	0.08	2.42332	220	2.16	2.71	0.27
0.62663	80	0.8	0.99	0.10	2.44866	230	2.26	2.83	0.28
0.75715	90	0.9	1.11	0.11	2.48295	240	2.35	2.96	0.29
0.92364	100	1.0	1.23	0.12	2.51634	250	2.45	3.08	0.30
1.03554	110	1.1	1.36	0.13	2.55773	260	2.55	3.20	0.31
1.12182	120	1.2	1.48	0.14	2.58620	270	2.65	3.33	0.33
1.19938	130	1.3	1.60	0.16	2.62552	280	2.75	3.45	0.34
1.27169	140	1.4	1.72	0.17	2.67597	290	2.84	3.57	0.35

Anexo 5.1. Continuación tabla 5

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.

FECHA DE PRUEBA:

DATOS DEL ESPÉCIMEN:

LADO "L1" (cm): 8.80 LADO "L2" (cm): 9.23 AREA (cm²): 81.18 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.76 PESO (grs.): 749.5

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
4.43848	600	5.9	7.39	0.72	5.33592	710	6.96	8.75	0.86
4.45767	610	6.0	7.51	0.74	5.41691	720	7.06	8.87	0.87
4.53789	620	6.1	7.64	0.75	5.47684	730	7.16	8.99	0.88
4.60780	630	6.2	7.76	0.76	5.56952	740	7.26	9.12	0.89
4.67760	640	6.3	7.88	0.77	5.69058	750	7.35	9.24	0.91
4.72040	640	6.3	7.88	0.77	5.81396	760	7.45	9.36	0.92
4.76389	640	6.3	7.88	0.77	5.92237	770	7.55	9.49	0.93
4.83038	640	6.3	7.88	0.77	5.99661	780	7.65	9.61	0.94
4.86114	640	6.3	7.88	0.77	6.19445	790	7.75	9.73	0.95
4.93149	650	6.4	8.01	0.79	6.35771	800	7.85	9.85	0.97
4.98330	660	6.5	8.13	0.80	6.48158	810	7.94	9.98	0.98
5.02789	670	6.6	8.25	0.81	6.64099	820	8.04	10.10	0.99
5.10340	680	6.7	8.38	0.82	6.82181	830	8.14	10.22	1.00
5.17426	690	6.8	8.50	0.83	7.00687	840	8.24	10.35	1.01
5.24907	700	6.9	8.62	0.85	7.25899	850	8.34	10.47	1.03

Anexo 5.2. Continuación tabla 5

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.

FECHA DE PRUEBA:

DATOS DEL ESPÉCIMEN:

LADO "L1" (cm): 8.80 LADO "L2" (cm): 9.23 AREA (cm²): 81.18 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.76 PESO (grs.): 749.5

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
2.70955	300	2.9	3.70	0.36	3.57330	450	4.41	5.54	0.54
2.75693	310	3.0	3.82	0.37	3.63779	460	4.51	5.67	0.56
2.79647	320	3.1	3.94	0.39	3.67753	470	4.61	5.79	0.57
2.83192	330	3.2	4.07	0.40	3.68898	480	4.71	5.91	0.58
2.91333	340	3.3	4.19	0.41	3.78311	490	4.81	6.04	0.59
2.95926	350	3.4	4.31	0.42	3.84919	500	4.90	6.16	0.60
3.01978	360	3.5	4.43	0.43	3.91594	510	5.00	6.28	0.62
3.06747	370	3.6	4.56	0.45	3.97170	520	5.10	6.41	0.63
3.14102	380	3.7	4.68	0.46	4.00134	530	5.20	6.53	0.64
3.20086	390	3.8	4.80	0.47	4.06168	540	5.30	6.65	0.65
3.26754	400	3.9	4.93	0.48	4.11137	550	5.39	6.78	0.66
3.33630	410	4.0	5.05	0.50	4.15293	560	5.49	6.90	0.68
3.40909	420	4.1	5.17	0.51	4.20441	570	5.59	7.02	0.69
3.45592	430	4.2	5.30	0.52	4.26000	580	5.69	7.14	0.70
3.53045	440	4.3	5.42	0.53	4.33463	590	5.79	7.27	0.71

Anexo 5.3. Continuación tabla 5

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 8.80 LADO "L2" (cm): 9.23 AREA (cm²): 81.18 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.76 PESO (grs.): 749.5

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
7.31887	860	8.4	10.59	1.04	10.62316	970	9.51	11.95	1.17
7.41655	870	8.5	10.72	1.05	11.09827	980	9.61	12.07	1.18
7.53166	880	8.6	10.84	1.06	11.43669	990	9.71	12.20	1.20
7.56298	890	8.7	10.96	1.08	12.62356	1000	9.81	12.32	1.21
7.99334	900	8.8	11.09	1.09	13.68410	1010	9.90	12.44	1.22
8.19625	900	8.8	11.09	1.09	15.59421	1020	10.00	12.56	1.23
8.47456	900	8.8	11.09	1.09	18.19302	1030	10.10	12.69	1.24
8.65474	900	8.8	11.09	1.09	21.79868	1040	10.20	12.81	1.26
8.90080	900	8.8	11.09	1.09	26.41584	1050	10.30	12.93	1.27
9.25761	910	8.9	11.21	1.10	32.17755	1060	10.40	13.06	1.28
9.57668	920	9.0	11.33	1.11	39.37432	1070	10.49	13.18	1.29
9.73832	930	9.1	11.46	1.12	48.86048	1080	10.59	13.30	1.30
9.80717	940	9.2	11.58	1.14	59.08877	1090	10.69	13.43	1.32
10.22595	950	9.3	11.70	1.15	70.10053	1100	10.79	13.55	1.33
10.52573	960	9.4	11.83	1.16	81.20123	1110	10.89	13.67	1.34

Anexo 6. Lecturas de deformación del espécimen No.6 La casa 1940.

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.
DATOS DEL ESPÉCIMEN:

FECHA DE PRUEBA:

LADO "L1" (cm): 9.39 LADO "L2" (cm): 9.37 AREA (cm²): 87.94 ALTURA PROMEDIO (cm): 9.47 PESO (grs.): 870.0

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
0.0000	0	0.0	0.00	0.00	2.03877	150	1.47	1.71	0.17
0.00013	10	0.1	0.11	0.01	2.10853	160	1.57	1.82	0.18
0.98900	20	0.2	0.23	0.02	2.17927	170	1.67	1.93	0.19
1.15344	30	0.3	0.34	0.03	2.24501	180	1.77	2.05	0.20
1.22218	40	0.4	0.45	0.04	2.32071	190	1.86	2.16	0.21
1.30991	50	0.5	0.57	0.06	2.39051	200	1.96	2.27	0.22
1.38983	60	0.6	0.68	0.07	2.44224	210	2.06	2.39	0.23
1.46568	70	0.7	0.80	0.08	2.52179	220	2.16	2.50	0.25
1.53148	80	0.8	0.91	0.09	2.58363	230	2.26	2.62	0.26
1.60417	90	0.9	1.02	0.10	2.64328	240	2.35	2.73	0.27
1.67294	100	1.0	1.14	0.11	2.71891	250	2.45	2.84	0.28
1.73467	110	1.1	1.25	0.12	2.78571	260	2.55	2.96	0.29
1.80632	120	1.2	1.36	0.13	2.86642	270	2.65	3.07	0.30
1.86805	130	1.3	1.48	0.14	2.95327	280	2.75	3.18	0.31
1.96673	140	1.4	1.59	0.16	3.05719	290	2.84	3.30	0.32

Anexo 7. Lecturas de deformación del espécimen No.7 Ex Hacienda de Nepomuceno.

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.

FECHA DE PRUEBA:

DATOS DEL ESPÉCIMEN:

LADO "L1" (cm): 10.01 LADO "L2" (cm): 8.95 AREA (cm²): 89.61 ALTURA PROMEDIO (cm): 8.48 PESO (grs.): 649.0

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
0.0000	0	0.0	0.00	0.00	4.90528	150	1.47	1.67	0.16
0.00033	10	0.1	0.11	0.01	5.20985	160	1.57	1.79	0.18
0.04400	20	0.2	0.22	0.02	5.72344	170	1.67	1.90	0.19
0.15352	30	0.3	0.33	0.03	6.38649	180	1.77	2.01	0.20
2.29881	40	0.4	0.45	0.04	7.53131	180	1.77	2.01	0.20
2.51511	50	0.5	0.56	0.05	8.71781	180	1.77	2.01	0.20
2.66566	60	0.6	0.67	0.07	11.42080	180	1.77	2.01	0.20
2.91743	70	0.7	0.78	0.08					
3.08040	80	0.8	0.89	0.09					
3.77733	90	0.9	1.00	0.10					
3.92454	100	1.0	1.12	0.11					
4.03828	110	1.1	1.23	0.12					
4.19362	120	1.2	1.34	0.13					
4.32068	130	1.3	1.45	0.14					
4.60295	140	1.4	1.56	0.15					

Anexo 7.1. Continuación tabla 7

NOTA: LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE TOMARON A CADA 10 KG DE CARGA.

FECHA DE PRUEBA:

DATOS DEL ESPÉCIMEN:

LADO "L1" (cm): 9.39 LADO "L2" (cm): 9.37 AREA (cm²): 87.94 ALTURA PROMEDIO (cm): 9.47 PESO (grs.): 870.0

DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS		DEFORMACIÓN UNITARIA	CARGA		ESFUERZOS	
	KG	KN	KG/CM ²	Mpa		KG	KN	KG/CM ²	Mpa
3.15928	300	2.9	3.41	0.33					
3.37036	310	3.0	3.53	0.35					
3.41159	320	3.1	3.64	0.36					
4.21103	330	3.2	3.75	0.37					
4.24647	340	3.3	3.87	0.38					
4.49084	350	3.4	3.98	0.39					
4.61342	360	3.5	4.09	0.40					
4.96572	370	3.6	4.21	0.41					
5.61844	380	3.7	4.32	0.42					
6.39633	380	3.7	4.32	0.42					
6.86354	380	3.7	4.32	0.42					
7.44948	380	3.7	4.32	0.42					
7.97166	380	3.7	4.32	0.42					