



**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN  
ENERGÍAS RENOVABLES**

# **ANÁLISIS, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE AISLANTES TÉRMICOS FABRICANDO BLOQUES DE ADOBE CON PAJA**

Autor: Ing. Alexandra Buri

Director: Dr. Leonardo Goyos

Julio de 2015

# 1. Antecedentes

- La envolvente del edificio juega un papel clave en la determinación de los niveles de confort, iluminación y ventilación natural , y cuánta energía se requiere para calentar y enfriar un edificio.
- En Ecuador las viviendas no responden a las condiciones climáticas de su entorno debido al uso de materiales de construcción inadecuados.
- En zonas rurales de la sierra es muy común encontrar viviendas hechas con adobe. Sin embargo esta técnica se ha ido perdiendo con el tiempo, siendo reemplazada por técnicas constructivas que utilizan principalmente concreto.



# 1. Antecedentes

- La climatización de una vivienda implica el consumo de energía y por lo tanto incrementa los costos económicos.
- En Ecuador, no se aplica el concepto de Bioclimatismo, que consiste en el manejo adecuado de la energía solar pasiva, de los materiales y sistemas de construcción como elementos básicos de climatización natural, integrando conceptos ambientalistas, elementos arquitectónicos y condiciones ambientales para lograr una situación de confort dentro de una vivienda



## 2. Definición del problema

- En el Ecuador dentro de los últimos años las técnicas y conceptos de construcción en las zonas rurales y urbanas no consideran factores de confort en armonía con el entorno climático.
- Las técnicas de construcción actuales han dejado de lado el uso de adobe como material aislante.
  - El estudio pretende analizar la resistencia y conductividad de bloques de adobe fabricados con distintos porcentajes de pajonal en su composición, para determinar un producto aislante y técnicamente viable para su aplicación en la construcción de edificaciones.



# 3. Objetivos

## ***General***

- Fabricar y estudiar bloques de adobe como aislante térmico agregando paja para su aplicación en la construcción de edificaciones

## ■ ***Específicos***

- Realizar los ensayos de resistencia mecánica sobre los prototipos elaborados.
- Realizar los ensayos de conductividad térmica sobre los prototipos elaborados.
- Establecer las proporciones óptimas entre adobe con paja con las cuales se obtenga un producto técnicamente viable, mediante un modelo estadístico.

## 4. Alcance

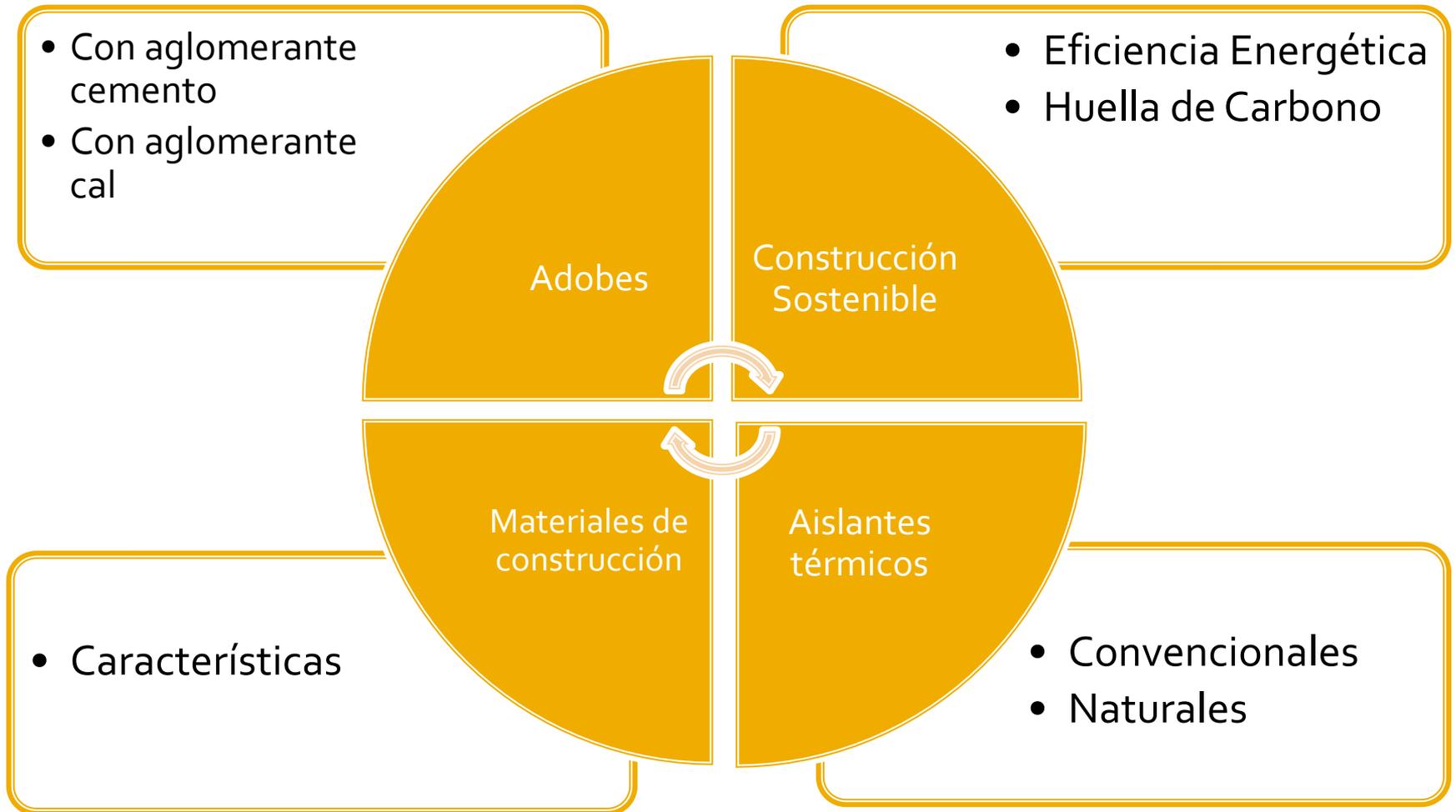
Desarrollar bloques de adobe con paja, estabilizados o no con cemento o cal y determinar su factibilidad técnica como material aislante a través de la caracterización de la conductividad térmica, la resistencia mecánica, mediante ensayos normalizados, obteniendo un equilibrio entre resistencia y conductividad térmica, minimizando esta última para que puedan ser utilizados en la construcción de edificaciones.

# 5. Justificación e importancia

- El adobe es un material utilizado tradicionalmente como material de construcción, sin embargo es necesario analizar, estudiar y evaluar sus características en cuanto a resistencia y conductividad para que pueda ser usado como aislante térmico.



# 5. Marco Teórico



# Construcción Sostenible

- Significa satisfacer las necesidades de vivienda e infraestructura del presente sin comprometer la capacidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades en tiempos venideros.
- Uso eficiente de los recursos naturales y de los materiales.
- Aplicación de diferentes métodos y enfoques con la continua exploración de estrategias sólidas de ingeniería, planeación y desarrollo en lo que respecta a sociedad y medio ambiente



# Eficiencia Energética



Medio para administrar y limitar el crecimiento en el consumo energético. El uso de la energía es eficiente si ofrece más servicios por el mismo aporte de energía, o los mismos servicios con menos consumo de energía.



Establecer especificaciones y características técnicas mínimas a ser tomadas en cuenta en el diseño, construcción, uso y mantenimiento de las edificaciones, reduciendo de esta manera el consumo de energía y recursos para su construcción.

# Huella de Carbono

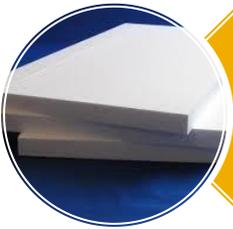
- La huella de carbono de todo el ciclo de vida de la vivienda o edificación, incluye la sumatoria del aporte que se genera en la fase de producción, el cual se contabiliza con el aporte del CO<sub>2</sub> equivalente de la fase de construcción, el aporte de la fase de operación y el aporte de la fase de fin de servicio.
- La aplicación de medidas de eficiencia energética en edificaciones, contribuye a la reducción del consumo energético y por lo tanto la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente.



# Aislantes térmicos convencionales



Lana mineral:  $\lambda = 0,05 - 0,03$   
(W/(m<sup>2</sup>·x°C))



Poliestireno:  $\lambda = 0,039 - 0,029$   
(W/(m<sup>2</sup>·x°C))



Poliestireno extruido:  $\lambda = 0,039 - 0,033$   
(W/(m<sup>2</sup>·x°C))



Espuma de poliuretano:  $\lambda = 0,042 - 0,0359$   
(W/(m<sup>2</sup>·x°C))

# Aislantes térmicos no convencionales



Fibra de madera:  $\lambda = 0,04 \text{ (W/(m}^2 \times \text{°C))}$



Cáñamo:  $\lambda = 0,041 \text{ (W/(m}^2 \times \text{°C))}$



Lana de oveja:  $\lambda = 0,039 \text{ (W/(m}^2 \times \text{°C))}$



Celulosa :  $\lambda = 0,037 - 0,039 \text{ (W/(m}^2 \times \text{°C))}$

# Características de los materiales de construcción



# Adobe

*El adobe se basa en una masa de barro, frecuentemente mezclada con paja, moldeada con forma prismática, de tamaño variable y secada al aire para formar muros*

- La tierra con la que se elabora el adobe, debe ser limpia, sin piedras ni desperdicios y debe triturarse
- Debe contener un balance apropiado de arena y arcilla,
- Los suelos con excesivo material orgánico (tierras negras) no son aptos
- La paja agregada a la tierra, hace las veces de armazón y ayuda químicamente en el proceso de secado del adobe, busca mejorar la calidad de la mezcla, la adherencia de las capas y la mayor livianidad del muro.



# Adobe con aglomerante cemento

- El adobe se mezcla con cemento para obtener mayor densidad, el mismo que actúa como elemento estabilizador, mejorando la resistencia y durabilidad
- La proporción de cemento utilizada varía entre 6 % y 10%.
- El adobe difiere del ladrillo, debido a que no necesita el uso de hornos y por lo tanto no implica consumo energético.
- El control de cantidad y calidad de agua en la mezcla, es un factor determinante, ya que actúa como lubricante de las partículas de la mezcla. Entre 8 & y 10%.



# Adobe

- El adobe es un material común utilizado en zonas rurales no sólo en Ecuador, sino en Latinoamérica. Las dimensiones varían acorde a la zona pero se encontró que la normativa peruana recomienda:
  - Para adobes rectangulares el largo sea aproximadamente el doble del ancho.
  - La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.
  - En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm

# Adobe con aglomerante cal

- La cal se puede usar como estabilizante en la elaboración de adobes o tapiales a fin de incrementar la resistencia mecánica y la resistencia al agua.
- Dependiendo del tipo de suelo se puede usar cal aérea en suelos arcillosos o cal hidráulica en suelos arenosos.
- El porcentaje aplicado generalmente es de 5% en volumen, pero puede variar entre 2% y 8% y preferentemente se usa tierras arcillosas.
- Además el uso de cal reduce los efectos de la erosión y permite tener aristas y caras lisas.



# Desarrollo experimental y análisis de resultados

- ❑ Elaboración de adobes
- ❑ Ensayo de resistencia
- ❑ Ensayo de conductividad

# Recolección de muestras

- Punto 1. Junto a la carretera principal Quito Papallacta
- Punto 2. En el sitio denominado Corrales, junto a una vía de segundo orden que conduce hacia el sitio denominado Penas Blancas.
- Punto 3. En el sitio denominado Penas Blancas a 3970 msnm justo en el límite donde se empieza a encontrar pajonales.



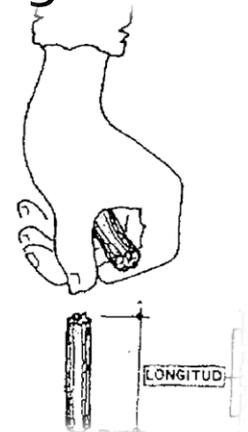
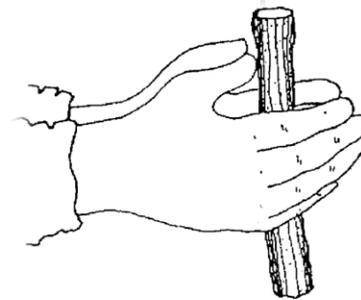
# Ensayo granulométrico

- Conocida como prueba de la botella, consiste en dejar reposar las muestras en una proporción de agua.
- Se observó que un 80% de la muestra estaba conformada por arena, por lo tanto no son suelos aptos para elaborar adobes.
- Para la elaboración de adobes se utilizó suelo obtenido de una ladrillera.



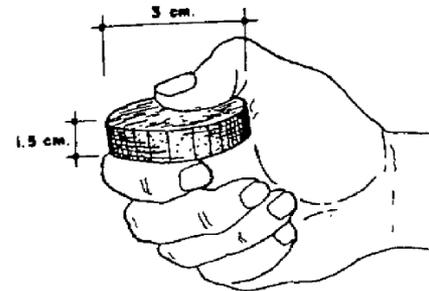
# Prueba de plasticidad

- Se utilizó únicamente la MSo<sub>3</sub>, MSo<sub>4</sub> y MSo<sub>6</sub>.
- La muestra de suelo de la ladrillera obtuvo los mejores resultados.
- Tierra arenosa (Inadecuada) - 5 cm
- Tierra arcillo - arenosa (Adecuada) - entre 5 y 15 cm
- Tierra arcillosa (Inadecuada) - longitud



# Prueba de resistencia

- La muestra  $MSo_4$  y  $MSo_6$  se mostraron compactas, sin embargo la  $MSo_4$  se rompió con facilidad. Por lo tanto la muestra de suelo de la ladrillera obtuvo los mejores resultados.
- Baja resistencia, cuando el disco se aplasta fácilmente (Inadecuada)
- Media o alta resistencia, cuando el disco se aplasta con dificultad o se rompe con sonido seco. (Adecuada)



# Elaboración de adobes



- Las fibras de paja, se cortaron en extensiones de 5cm aproximadamente.
- Dimensiones: Alto: 5cm, Ancho: 10 cm, Largo: 20 cm
- Para la preparación de muestras se consideró incrementos del porcentaje de pajonal (en volumen). Usando como muestra patrón para los ensayos con estabilizante cemento al 10% (en volumen) y para los ensayos con estabilizante cal al 5% (en volumen). El tiempo de secado es de 30 días.

# Elaboración de adobes

## Suelo - pajonal

Adobe patrón	4
Paja 20%	2
Paja \$40%	2
Paja 60%	2
Paja 80%	2

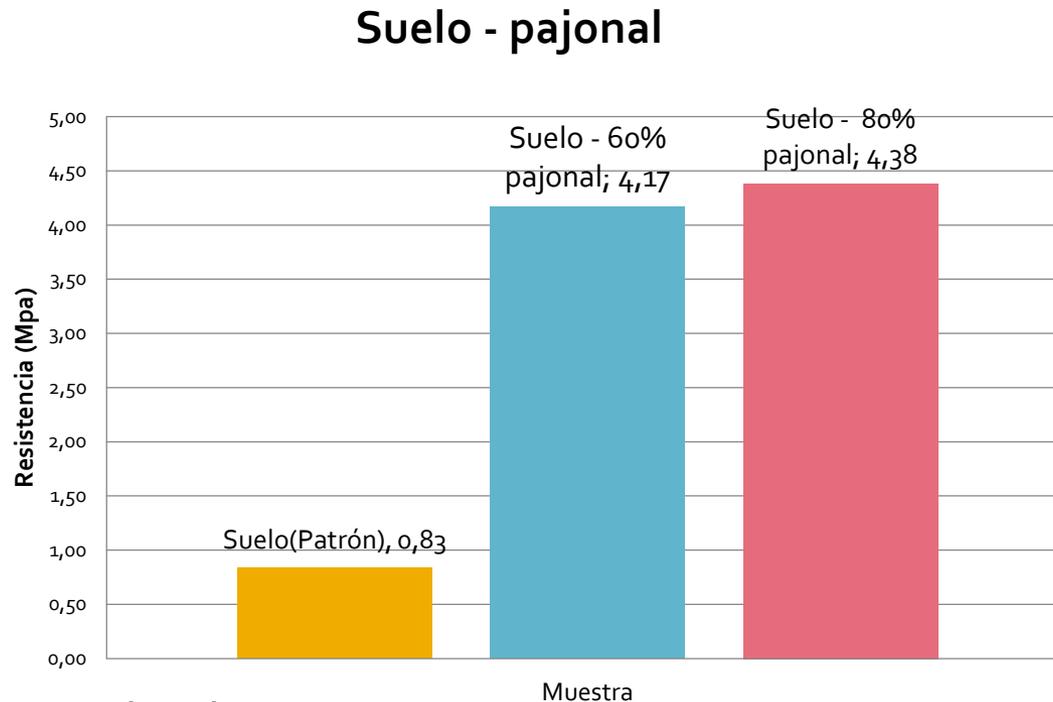
## Suelo – pajonal - cemento

Adobe patrón (10%)	4
Paja 20%	2
Paja \$40%	2
Paja 60%	2
Paja 80%	2

## Suelo – cal - cemento

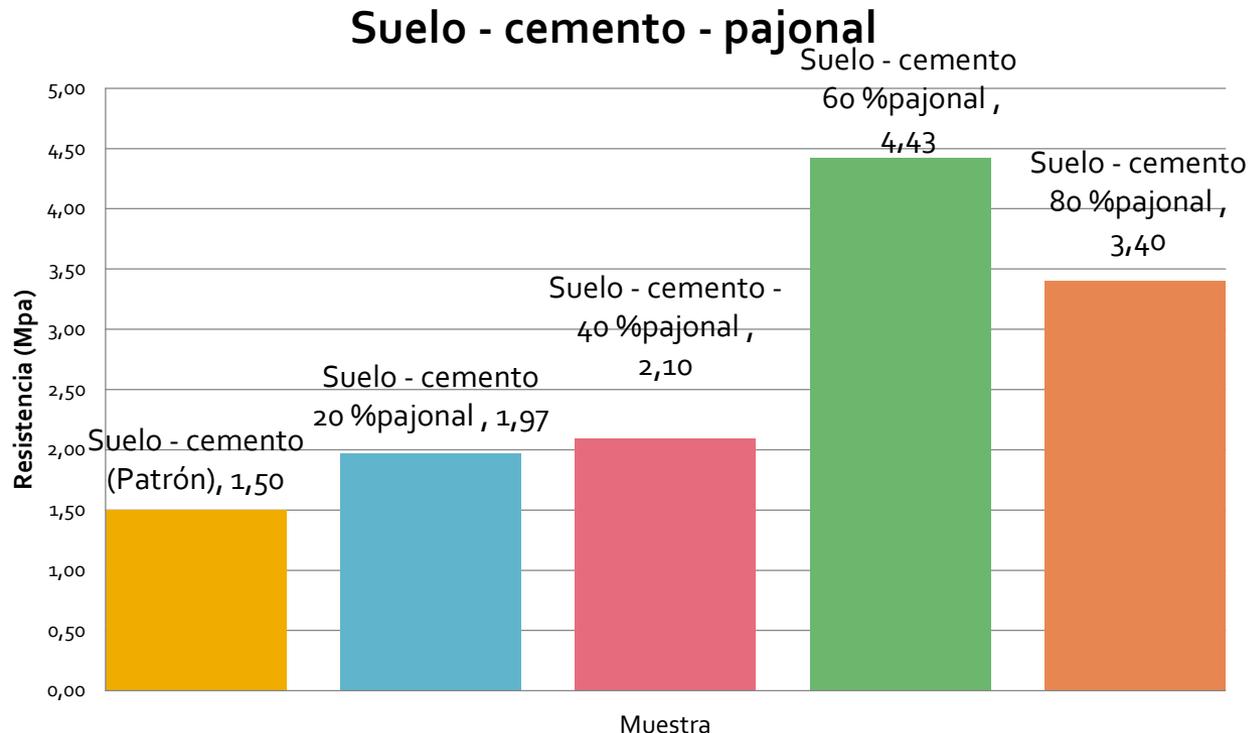
Adobe patrón (5%)	4
Paja 20%	2
Paja \$40%	2
Paja 60%	2
Paja 80%	2

# Ensayo de resistencia



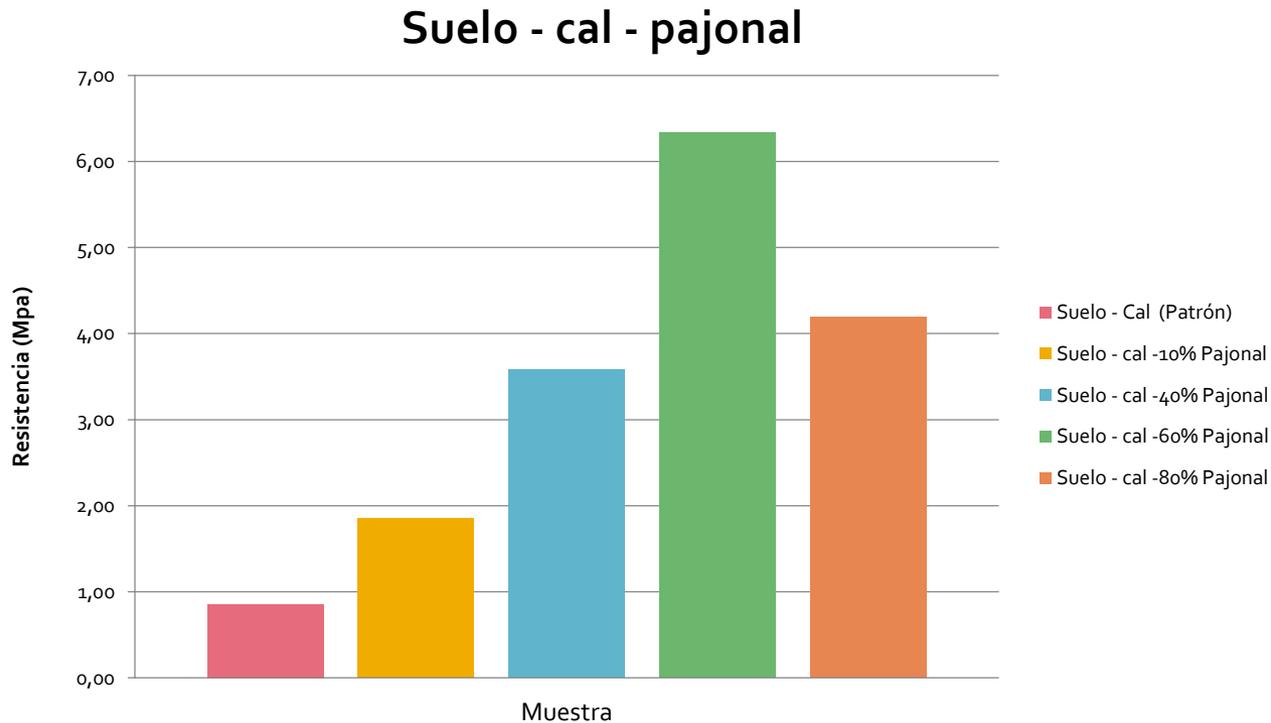
- Los prototipos patrón (únicamente suelo), obtuvieron una resistencia promedio de 0,83 Mpa.
- Los prototipos con 60% de pajonal (en volumen) y 80% en su composición, se obtuvieron valores de 4,17 Mpa y 4,38 Mpa, respectivamente.
- Los prototipos de 20% y 40% no pudieron ser ensayados porque sufrieron daños durante el traslado al laboratorio.

# Ensayo de resistencia



- Se ensayaron todos los prototipos, los valores obtenidos para la resistencia se incrementan a medida que se incrementa el porcentaje (en volumen) de pajonal.
- Es así que se obtuvo una resistencia para la muestra patrón de 1,50 (Mpa) y para los porcentajes de 40% y 60% se obtuvieron valores de 1,10 Mpa y 4,42Mpa, respectivamente.
- Para el porcentaje de 80% la resistencia disminuye, siendo el valor obtenido de 3,40 Mpa.

# Ensayo de resistencia



- Se ensayaron todos los prototipos, los valores obtenidos para la resistencia se incrementan a medida que se incrementa el porcentaje (en volumen) de pajonal.
- El valor obtenido para la resistencia se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de pajonal en la composición de los adobes.
- La máxima resistencia obtenida es de 60% , siendo el valor obtenido de 6.33 %. Para el porcentaje del 80%, la resistencia disminuye

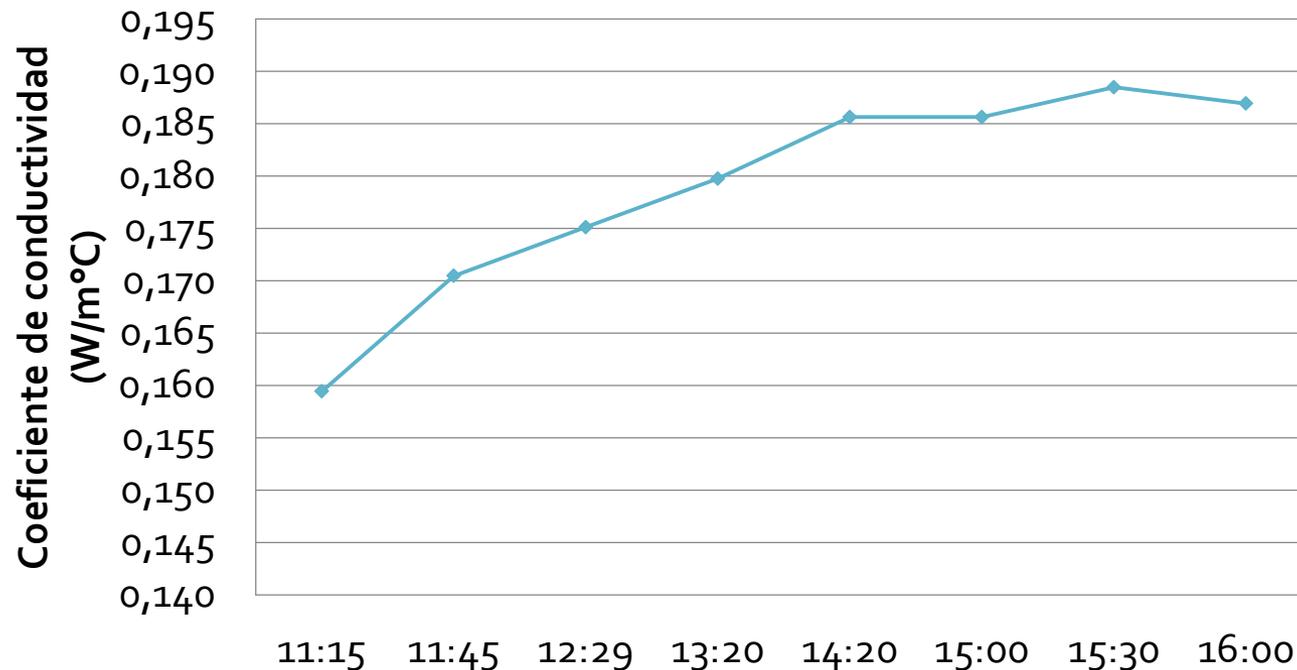
# Ensayo de conductividad



Hora	11:15	11:45	12:29	13:20	14:20	15:00	15:30	16:00
T <sub>1</sub> (°C)	25,8	24,7	23,5	22,6	21,9	21,6	21,4	21,4
T <sub>2</sub> (°C)	26,1	25,1	23,9	23,2	22,5	22,3	22,1	22
T <sub>3</sub> (°C)	19,1	18,5	17,4	16,6	16,1	15,8	15,7	15,6
T <sub>4</sub> (°C)	15,5	15	14,1	13,5	13,1	12,8	12,7	12,7
V <sub>1</sub> (v)	13,81	13,81	13,82	13,82	13,81	13,81	13,82	13,81
T <sub>ref</sub> (°C)	17,2	16,8	16,4	16,4	15,8	15,7	15,7	15,7
T ambiente (°C)	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6	20,6
Humedad (%)	62	62	62	62	62	62	62	62
T <sub>1</sub> -T <sub>4</sub>	10,3	9,7	9,4	9,1	8,8	8,8	8,7	8,7
T <sub>1</sub> -T <sub>3</sub>	6,7	6,2	6,1	6	5,8	5,8	5,7	5,8
1+(T <sub>1</sub> -T <sub>4</sub> /T <sub>1</sub> -T <sub>3</sub> )	2,54	2,56	2,54	2,52	2,52	2,52	2,53	2,50
Q <sub>elect</sub>	2,05	2,05	2,05	2,05	2,0463	2,0463	2,0493	2,0463
Q <sub>2</sub>	0,81	0,80	0,81	0,81	0,813	0,813	0,811	0,819
Área *Q <sub>2</sub>	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,025
Lamda	0,159	0,170	0,175	0,180	0,186	0,186	0,188	0,187

# Ensayo de conductividad

Coef. de conductividad Vs tiempo



- Los resultados obtenidos para las placas de adobe con paja al 60% son de 0,186 el mínimo y 0,188 el máximo, siendo el promedio de 0,187.
- El resultado promedio obtenido es menor que el que se indica referencialmente para el adobe en la literatura revisada.

# Conclusiones



- De los ensayos de resistencia para los prototipos de **Suelo – Pajonal**, se concluye que la resistencia se incrementa a medida que se adiciona fibras de pajonal, por lo tanto el valor de la resistencia para la muestra de suelo (sin pajonal) fue de 0,83 Mpa, mientras que para las muestras con 60% de pajonal en volumen se obtuvo 4,17 Mpa y para las muestras con 80% de pajonal en volumen se obtuvo 4,38 Mpa.
- La resistencia alcanzada en los prototipos de pajonal con 60 % y 80% (en volumen) de pajonal es ligeramente diferente, Por lo tanto, se concluye que luego de un 60% de pajonal, la resistencia no se incrementa notablemente.
- De los ensayos de resistencia para los prototipos de **Suelo – Cemento – Pajonal**, se concluye que la resistencia de las muestras ensayadas, se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de pajonal (en volumen) utilizado en cada adobe. Es así que para la muestra con 20% de pajonal la resistencia alcanzada fue de 1,97 Mpa, mientras que para las muestras con 40 % y 60% se alcanzó 2,19 Mpa y 4,43% respectivamente.

# Conclusiones



- Sin embargo se comprobó que al incrementar el pajonal a un 80% en la composición del adobe, la resistencia disminuye, por lo tanto se concluye que 60% es el valor máximo de pajonal que puede ser utilizado en prototipos de suelo – cemento – pajonal.
- De los ensayos de resistencia para los prototipos de **Suelo – Cal – Pajonal**, se concluye que la resistencia se incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de pajonal (en volumen). Es así que se obtuvo que para un 10% de pajonal (en volumen) se alcanzó una resistencia de 1,85 Mpa, mientras que para un porcentaje de 60% de pajonal se alcanzó una resistencia de 6,33 Mpa.
- Sin embargo cuando el porcentaje de pajonal es de 80% la resistencia disminuye, por lo tanto se concluye que 60 %este es el máximo porcentaje de pajonal que puede ser utilizado en prototipos de suelo – cal – pajonal.

# Conclusiones



- De los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia se concluye que el uso de estabilizantes como el cemento y cal, se constituyen en una forma de mejoramiento técnico para la fabricación de adobes. De igual manera, la incorporación de fibras vegetales como pajonal, ayuda a mejorar la adherencia entre las capa e incrementan la propiedad de elasticidad del adobe.
- Experimentalmente se determinó que el coeficiente promedio de conductividad alcanzado es de  $0,187 \text{ (W/m}^\circ\text{C)}$ , el mismo que se encuentra aproximadamente un 3% sobre los valores determinados para aislantes térmicos convencionales. Es decir a pesar de no alcanzar la conductividad de materiales convencionales, es un muy buen material aislante.



**Gracias por su atención....**