



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA**

**ELABORACIÓN DE ADOBES UTILIZANDO LODOS  
GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUA POTABLE DE TIXÁN EN LA CIUDAD DE CUENCA-  
ECUADOR**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTO**

**AUTOR: WILSON DIEGO ALVAREZ ABRIL**

**DIRECTOR: Dr. FELIPE QUESADA MOLINA**

**CUENCA - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,**

**INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE ARQUITECTURA**

ELABORACIÓN DE ADOBES UTILIZANDO LODOS GENERADOS  
EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN  
EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE ARQUITECTO**

**AUTOR: WILSON DIEGO ÁLVAREZ ABRIL**

**DIRECTOR: Dr. FELIPE QUESADA MOLINA**

**CUENCA - ECUADOR**

**2024**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Wilson Diego Álvarez Abril portador de la cédula de ciudadanía N° 0103243457. Declaro ser el autor de la obra: "Elaboración de adobes utilizando lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable de Tixán en la ciudad de Cuenca-Ecuador", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 24 de abril de 2024

  
F: .....  
Wilson Diego Álvarez Abril  
0103243457

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Wilson Diego Álvarez Abril, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. QUESADA', is written over a horizontal dashed line. The signature is stylized and somewhat abstract.

Dr. Felipe Quesada Molina

DIRECTOR

## **DEDICATORIA**

Esta etapa de mi vida la dedico a mis cinco hijas, quienes me inspiran a esforzarme por mejorar continuamente demostrando que con dedicación y determinación cualquier objetivo deseado es alcanzable. Extiendo mi agradecimiento a mi madre, Mariana Abril Delgado, a mi padre, Wilson Álvarez Sarmiento y a mi tía, Rocío Álvarez Sarmiento, por su inquebrantable confianza en mí y su apoyo durante la culminación de mi trayectoria académica para completar esta tesis. También expreso mi más sincero agradecimiento a la persona que, aunque no está físicamente presente, me cuida desde lejos y se enorgullece de mis logros.

¡Muchas gracias familia!

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Universidad Católica de Cuenca y a todos mis profesores, cuyas cátedras han transformado mi vida realizándome como un verdadero profesional en arquitectura.

## RESUMEN

El objetivo principal de esta tesis es desarrollar una técnica viable para la elaboración de adobes, utilizando lodos generados en los procesos de potabilización de agua en la planta de Tixán, en la ciudad de Cuenca. Se pretende cumplir con las normas y regulaciones establecidas en el Ecuador para garantizar la calidad y seguridad de los productos elaborados.

Para alcanzar este objetivo, se llevará a cabo una investigación exhaustiva del proceso de fabricación de adobe. Además, se recopilarán datos de la empresa ETAPA EP para caracterizar los lodos generados en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán.

Con las muestras recopiladas, se realizarán mezclas, variando dosificaciones y porcentaje de lodos a sustituir desde el 10% al 40%. Se elaborarán adobes de prueba y con un mínimo del 60% que terminarán su proceso final.

Se ensayará el 10% del total de los adobes elaborados a la resistencia a compresión. Los resultados se analizarán para determinar la dosificación óptima de los materiales utilizados.

Se espera que, según el análisis, las unidades finales de prueba cumplan con las normas establecidas para el adobe (si las hubiere) y documentar la viabilidad de utilizar lodos aluminosos en su fabricación, ya que esto representa un beneficio económico y ambiental. Además, se espera que esta técnica permita un ahorro de tiempo y de recursos en la explotación de canteras y en la disposición final de los lodos. El resultado final de este proyecto de tesis será una técnica sostenible y eficiente para la elaboración de adobe utilizando lodos generados en los procesos de tratamiento de agua.

Palabras clave: adobes, lodos aluminosos, adobes estabilizados

## **ABSTRACT**

The main objective of this thesis project is to develop a viable technique for elaborating adobe bricks using sludge generated in the water purification processes at the Tixán plant in Cuenca. The aim is to comply with the norms and regulations established in Ecuador to guarantee the quality and safety of the products manufactured.

An exhaustive investigation of the adobe bricks manufacturing process will be conducted to achieve this objective. Data from the Municipal Company of Telecommunications, Drinking Water, Sewerage and Sanitation (ETAPA-EP by its Spanish acronym) will also be collected to characterize the sludge generated at the Tixán Drinking Water Treatment Plant.

With the samples collected, mixtures will be made, varying dosages and percentages of sludge to be replaced from 10% to 40%. Test adobe bricks will be made with a minimum of 60% sludge, which will complete their final process.

Ten percent of the elaborated adobe bricks will be tested for compressive strength. The results will be analyzed to determine the optimum dosage of the materials used. Based on the analysis, the final test units are expected to meet the established adobe bricks standards (if any) and document the viability of using alumina sludge in their production, representing an economic and environmental benefit. Additionally, this technique is expected to allow for time and resource savings in quarrying and the final disposal of sludge. The outcome of this thesis project will be a sustainable and efficient technique for producing adobe bricks using sludge generated in water treatment processes.

Keywords: adobe bricks, alumina sludge, stabilized adobe bricks

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	- 4 -
DEDICATORIA	- 5 -
AGRADECIMIENTOS	- 6 -
RESUMEN	- 7 -
ABSTRACT	- 8 -
ÍNDICE DE CONTENIDOS	- 9 -
LISTA DE IMÁGENES	- 12 -
LISTA DE TABLAS	- 14 -
LISTA DE GRÁFICOS	- 15 -
LISTA DE ANEXOS	- 16 -
CAPÍTULO I	- 17 -
<b>1. LÍNEAMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>- 17 -</b>
1.1 INTRODUCCIÓN	- 17 -
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	- 17 -
1.3 DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	- 18 -
1.4 OBJETIVOS	- 19 -
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	- 19 -
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	- 19 -
1.5 METODOLOGÍA	- 19 -
CAPÍTULO II	- 21 -
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>- 21 -</b>
2.1 EL ADOBE	- 21 -
2.1.1 <i>Introducción.</i>	- 21 -
2.2 CONSTRUCCIÓN CON TIERRA A TRAVÉS DEL TIEMPO	- 22 -
2.3 USO DEL SUELO NATURAL COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO	- 23 -
2.4 EL BLOQUE DE TIERRA	- 24 -
2.5 EL ADOBE EN AMÉRICA LATINA	- 25 -
2.5.1 <i>El Adobe en Ecuador</i>	- 26 -
2.5.2 <i>El adobe en Cuenca</i>	- 27 -
2.6 TIPOS DE ADOBE	- 27 -
2.6.1 <i>Según el tiempo.</i>	- 28 -
2.6.2 <i>Según su composición.</i>	- 30 -
2.7 TIPOS DE ESTABILIZANTES UTILIZADOS EN LOS ADOBES NATURALES	- 31 -
2.7.1 <i>Estabilización Física del adobe.</i>	- 32 -
2.7.2 <i>Estabilización mecánica.</i>	- 32 -
2.7.3 <i>Estabilización química.</i>	- 32 -
2.8 MATERIALES USADOS COMO ESTABILIZADORES DEL ADOBE NATURAL	- 33 -
2.8.1 <i>Productos puzolánicos.</i>	- 33 -
2.8.2 <i>Productos sintéticos como estabilizante.</i>	- 35 -
2.8.3 <i>Productos asfálticos como estabilizante.</i>	- 36 -
2.8.4 <i>Fibras naturales utilizados como estabilizantes.</i>	- 37 -
2.9 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN (PTAP)	- 39 -
2.9.1 <i>Ubicación.</i>	- 40 -
2.9.2 <i>Descripción.</i>	- 41 -

2.9.3	Proceso de potabilización del agua cruda.	- 42 -
2.9.4	Adición de sulfato de aluminio.	- 44 -
2.9.5	Influencia de la incorporación de lodo aluminoso.	- 44 -
2.10	LODO RESIDUAL RESULTADO DE LA PLANTA PURIFICADORA DE AGUA DE TIXÁN.	- 45 -
2.10.1	Tratamiento de lodos residuales.	- 45 -
2.10.2	Características del lodo residual	- 47 -
<b>CAPÍTULO III</b>		<b>- 48 -</b>
<b>3.</b>	<b>ESTUDIO DE CAMPO</b>	<b>- 48 -</b>
3.1	NORMATIVA INTERNACIONAL.	- 48 -
3.2	NORMATIVA LOCAL.	- 50 -
3.3	GUÍA DE FABRICACIÓN DEL ADOBE ESTABILIZADO	- 50 -
3.3.1	Composición y dosificación.	- 50 -
3.3.2	Extracción de la tierra	- 51 -
3.3.3	Hidratación de la tierra.	- 51 -
3.3.4	Mezclado del barro.	- 52 -
3.3.5	Moldeado.	- 52 -
3.3.6	Vaciado.	- 52 -
3.3.7	Pre-secado.	- 52 -
3.3.8	Perfilado del adobe	- 52 -
3.3.9	Secado.	- 53 -
3.3.10	Apilado.	- 53 -
3.4	RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN DEL ADOBE	- 53 -
3.5	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CONSTRUCCIÓN CON ADOBE	- 53 -
3.5.1	Ventajas de usar adobe como material constructivo.	- 54 -
3.5.2	Desventajas de construir con adobe.	- 55 -
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>- 56 -</b>
<b>4.</b>	<b>EXPERIMENTACIÓN</b>	<b>- 56 -</b>
4.1	ELABORACIÓN DE ADOBES DE ESTUDIO	- 56 -
4.1.1	Recolección de lodos residuales.	- 56 -
4.1.2	Dosificación de los lodos residuales.	- 57 -
4.1.3	MATERIA PRIMA (TIERRA) PARA ADOBES	- 60 -
4.1.4	MEZCLA DE LA MATERIA PRIMA PARA ADOBE TRADICIONAL	- 60 -
4.1.5	Adición de lodos aluminosos.	- 61 -
4.1.6	MOLDEADO	- 62 -
4.1.7	VACIADO	- 62 -
4.1.8	PRE-SECADO	- 63 -
4.1.9	SECADO	- 63 -
4.1.10	APILADO	- 64 -
4.1.11	MANEJO, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN DE LOS ADOBES ESTABILIZADOS	- 64 -
<b>5.</b>	<b>PRUEBAS DE LABORATORIO</b>	<b>- 65 -</b>
5.1	EQUIPOS DE LABORATORIO	- 66 -
5.1.1	BALANZA ELECTRÓNICA UWE SEK-30K	- 66 -
5.1.2	HORNO ELÉCTRICO DIGITAL PINZUAR	- 67 -
5.1.3	MÁQUINA DE PRUEBA DE COMPRESIÓN SHIMADZU CORPORATION	- 68 -
5.2	PREPARACIÓN DE MUESTRAS	- 69 -
5.3	PRUEBA DE HUMEDAD	- 72 -
5.4		- 73 -
5.5	RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN	- 73 -

<b>CAPÍTULO V</b>	<b>- 76 -</b>
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>- 76 -</b>
6.1 RESULTADO DE LOS ENSAYOS A LA HUMEDAD.	- 76 -
6.2 RESULTADO FINAL DEL PESO SECO	- 78 -
6.3 RESULTADO DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN	- 79 -
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>- 83 -</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>- 83 -</b>
7.1 CONCLUSIONES.	- 83 -
7.1.1 <i>Conclusión de acuerdo al tiempo de secado</i>	- 83 -
7.1.2 <i>Conclusión de acuerdo a la resistencia mecánica a la compresión</i>	- 83 -
7.1.3 <i>Conclusión de acuerdo al peso</i>	- 83 -
7.2 RECOMENDACIONES	- 84 -
7.2.1 <i>Recomendación de acuerdo al tiempo de secado</i>	- 84 -
7.2.2 <i>Recomendación de acuerdo a la resistencia mecánica a la compresión</i>	- 84 -
7.2.1 <i>Recomendación para futuras pruebas similares</i>	- 84 -
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>- 85 -</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>- 88 -</b>

## LISTA DE IMÁGENES

<i>Imagen 1: Parroquias Rurales del Azuay</i> .....	- 18 -
<i>Imagen 2: Adobe Artesanal</i> .....	- 21 -
<i>Imagen 3: Gran Mezquita de Djenné en Malí</i> .....	- 23 -
<i>Imagen 4: Ciudad de Jericó</i> .....	- 24 -
<i>Imagen 5: The high-rise architectures at Shibam</i> .....	- 25 -
<i>Imagen 6: Ciudadela de Chan-Chan, Perú</i> .....	- 26 -
<i>Imagen 7: Centro Histórico de Guaranda</i> .....	- 27 -
<i>Imagen 8: Varias edificaciones de Cuenca están construidas a base de adobe</i> .....	- 27 -
<i>Imagen 9: Adobes estabilizados</i> .....	- 28 -
<i>Imagen 10: Máquina para elaboración de BTC.</i> .....	- 30 -
<i>Imagen 11: Adobe Natural</i> .....	- 30 -
<i>Imagen 12: Cemento Portland</i> .....	- 34 -
<i>Imagen 13: Que es la cal y sus características.</i> .....	- 34 -
<i>Imagen 14: Diversas aplicaciones del yeso.</i> .....	- 35 -
<i>Imagen 15: ¿Qué es la resina acrílica?</i> .....	- 35 -
<i>Imagen 16: Como trabajar con resina epoxi.</i> .....	- 36 -
<i>Imagen 17: Impermeabilizante asfáltico</i> .....	- 36 -
<i>Imagen 18: Silicato de Sodio</i> .....	- 37 -
<i>Imagen 19: Aceite de Linaza todos los beneficios.</i> .....	- 37 -
<i>Imagen 20: Elaboración de fibra de cabuya.</i> .....	- 38 -
<i>Imagen 21: Cáscara de arroz.</i> .....	- 38 -
<i>Imagen 22: La Textura del aserrín de la madera.</i> .....	- 39 -
<i>Imagen 23: Viruta.</i> .....	- 39 -
<i>Imagen 24: Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán.</i> .....	- 40 -
<i>Imagen 25: Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable</i> .....	- 41 -
<i>Imagen 26: Módulo I (PTAP)</i> .....	- 42 -
<i>Imagen 27: Módulo II (PTAP)</i> .....	- 42 -
<i>Imagen 28: Recolección de lodos aluminosos</i> .....	- 57 -
<i>Imagen 29: Tolla de lodos aluminosos</i> .....	- 57 -
<i>Imagen 30: Contenedor de medida</i> .....	- 58 -
<i>Imagen 31: Materia prima para adobe tradicional</i> .....	- 60 -
<i>Imagen 32: Mezcla de materia prima para adobe tradicional.</i> .....	- 60 -
<i>Imagen 33: Adición de lodos aluminosos</i> .....	- 61 -
<i>Imagen 34: Adición de paja y agua a la mezcla</i> .....	- 61 -
<i>Imagen 35: Mezcla de materia prima para adobes estabilizados</i> .....	- 61 -
<i>Imagen 36: Humedecimiento de molde</i> .....	- 62 -
<i>Imagen 37: Vaciado 50%</i> .....	- 62 -
<i>Imagen 38: Vaciado 100%</i> .....	- 62 -
<i>Imagen 39: Pre-secado</i> .....	- 63 -

<b>Imagen 40:</b> Secado de Adobe .....	- 63 -
<b>Imagen 41:</b> Adobes secados por 30 días .....	- 64 -
<b>Imagen 42:</b> Transporte de adobes .....	- 64 -
<b>Imagen 43:</b> Adobes en Laboratorio .....	- 65 -
<b>Imagen 44:</b> CIITT .....	- 65 -
<b>Imagen 45:</b> Balanza electrónica UWE SEK-30K .....	- 66 -
<b>Imagen 46:</b> Horno eléctrico digital pinzuar .....	- 67 -
<b>Imagen 47:</b> Máquina de prueba de compresión shimadzu corp. ....	- 68 -
<b>Imagen 48:</b> Peso P16 .....	- 69 -
<b>Imagen 49:</b> Probetas para prueba .....	- 69 -
<b>Imagen 50:</b> Peso P1 .....	- 69 -
<b>Imagen 51:</b> Peso húmedo + Contenedor P2 .....	- 72 -
<b>Imagen 52:</b> Secado de muestras .....	- 72 -
<b>Imagen 53:</b> Peso de muestra húmeda + Contenedor P1 .....	- 72 -
<b>Imagen 54:</b> Peso de muestra húmeda + Contenedor P3 .....	- 73 -
<b>Imagen 55:</b> Peso de muestra húmeda + Contenedor P0 .....	- 73 -
<b>Imagen 56:</b> Rotura Probeta 2 .....	- 74 -
<b>Imagen 57:</b> Rotura Probeta 1 .....	- 74 -
<b>Imagen 58:</b> Escombros resultado de la rotura de probetas 1 y 2 .....	- 74 -
<b>Imagen 59:</b> Resultado Atípico P4 .....	- 75 -
<b>Imagen 60:</b> Resultado Atípico P18 .....	- 75 -
<b>Imagen 61:</b> Resultado Atípico Probeta 18 .....	- 82 -

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Normas y Reglamentos en el mundo</i> .....	- 49 -
<i>Tabla 2 Cálculo volumétrico para el adobe</i> .....	- 57 -
<i>Tabla 3 Cálculo volumétrico de contenedor</i> .....	- 58 -
<i>Tabla 4 Diseño de Adición de Lodos Residuales</i> .....	- 59 -
<i>Tabla 5 Características físicas de los adobes 1era Fase a los 30 días de secado.</i> .....	- 70 -
<i>Tabla 6 Características físicas de los adobes 2da Fase a los 59 días de secado.</i> .....	- 71 -
<i>Tabla 7 Porcentaje de humedad en los adobes naturales</i> .....	- 76 -
<i>Tabla 8 Comparación de adobes en peso y forma</i> .....	- 78 -
<i>Tabla 9 Relación peso / adición de lodos aluminosos</i> .....	- 78 -
<i>Tabla 10 Ensayos de resistencia mecánica a la compresión fase1 / fase2</i> .....	- 80 -
<i>Tabla 11 Ensayos de resistencia mecánica a la compresión - Resultado Final</i> .....	- 81 -

## LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1 Relación: Porcentaje de Humedad / Tiempo.....</i>	<i>- 77 -</i>
<i>Gráfico 2 Relación: Peso / Tiempo.....</i>	<i>- 77 -</i>
<i>Gráfico 3 Relación: Peso de probetas / Adición de Lodos aluminosos .....</i>	<i>- 78 -</i>

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: P1	- 88 -
Anexo 2: P2	- 89 -
Anexo 3: P0	- 90 -
Anexo 4: P3	- 91 -
Anexo 5: P4	- 92 -
Anexo 6: P5	- 93 -
Anexo 7: P6	- 94 -
Anexo 8: P7	- 95 -
Anexo 9: P8	- 96 -
Anexo 10: P9	- 97 -
Anexo 11: P10	- 98 -
Anexo 12: P11	- 99 -
Anexo 13: P12	- 100 -
Anexo 14: P13	- 101 -
Anexo 15: P14	- 102 -
Anexo 16: P15	- 103 -
Anexo 17: P16	- 104 -
Anexo 18: P17	- 105 -
Anexo 19: Probeta 17 detalle	- 106 -
Anexo 20: P18	- 107 -

# CAPÍTULO I

## 1. LÍNEAMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Introducción

El propósito principal de esta tesis es desarrollar una metodología viable para producir adobes estabilizados con lodos generados en el proceso de potabilización de agua en la planta de Tixán, en la ciudad de Cuenca, que cumplan con las normativas ecuatorianas para asegurar la calidad y seguridad de los productos elaborados, para lograrlo; se llevará a cabo una investigación exhaustiva del proceso de fabricación de adobe y normativas de construcción con tierra, que permitan obtener los adobes estabilizados para realizar las pruebas de resistencia mecánica a la compresión. Se aplicarán diferentes proporciones de lodos (3%, 5%, 7.5%, 10%, y 50%) en la elaboración de los adobes estabilizados de estudio para determinar la dosificación óptima del aglomerante, con la expectativa de que las unidades finales cumplan con las normas técnicas establecidas. Se espera documentar la viabilidad de utilizar lodos residuales en el proceso de purificación del agua en la planta de Tixán, con beneficios económicos y ambientales para la ciudad, direccionando a la disposición final de los lodos aluminosos residuales como una técnica sostenible y eficiente para la elaboración del adobe.

### 1.2 Formulación del problema y justificación

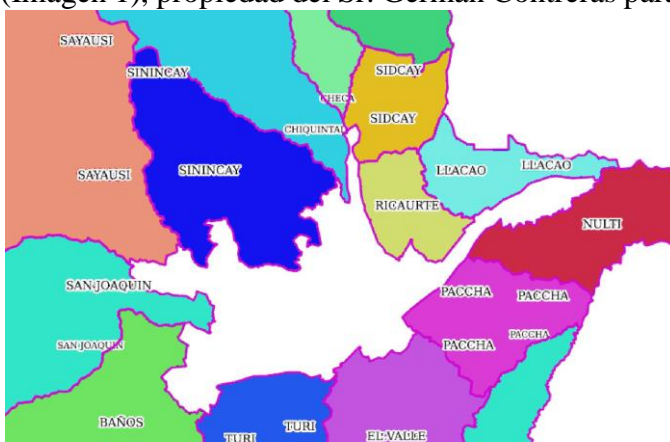
La tesis investigará los procesos de elaboración de los adobes y generará una alternativa para los lodos residuales del tratamiento de agua potable, aplicado al sector de la construcción, mediante la adición en diferentes porcentajes a la elaboración de los mismos. Los lodos son dispuestos al final como relleno sanitario que contaminan el suelo receptor y sus alrededores por medio de la lluvia. El aporte de los lodos a la población es mínimo y los potenciales de su constitución podrían ser aprovechados de una manera más adecuada. Es por esto que la opción de utilizar productivamente dichos lodos se presenta como una alternativa factible para la recuperación de recursos naturales en el sector de la construcción. También, la poca o ninguna supervisión de los materiales utilizados por el sector de producción de adobes, origina en algunos de ellos un acabado estéticamente aceptable, pero que no cumplen con las propiedades mecánicas necesarias. Los límites que tiene la tecnología de construcción tradicional, en particular, las técnicas de muro portante, con el fin de evaluar la necesidad de aplicar mejoras en los sistemas utilizados y garantizar la efectividad de los materiales de construcción predominantes para el adobe.

En la actualidad se ha explorado la posibilidad de utilizar materiales más amigable con la naturaleza como alternativa para la construcción, como es el lodo generado en las plantas de tratamiento de agua potable no se cuenta con datos específicos en Ecuador. La generación de lodos representa un impacto ambiental significativo en la vida de todos los habitantes del sector rural tanto como urbano, lo que, junto con las limitaciones ambientales en cuanto a la descarga y el aumento de los costos por su transporte y eliminación en rellenos sanitarios, ha llevado a los organismos responsables a buscar soluciones técnico-económicas viables para aprovechar los lodos. En este sentido, se estudiará la alternativa de utilizar los materiales tradicionales con la adición de los lodos residuales generados en el proceso de tratamiento de potabilización del agua para la ciudad de Cuenca, proponiendo un elemento constructivo que pueda ayudar a disminuir los impactos ambientales antes mencionados. Por lo tanto, resulta necesario implementar esta alternativa para mejorar sustancialmente las condiciones ambientales y económicas del sector.

### 1.3 Definición de la zona de estudio

Los objetivos de esta tesis es realizar un estudio y elaboración de adobes estabilizados con lodos residuales obtenidos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán (PTAP) en la ciudad de Cuenca para mejorar el aporte al sector de la construcción y de esta forma mitigar la contaminación al medio ambiente, y; considerando que en el sector se fabrica solamente adobe tradicional, se realizará la elaboración de los mismos, en la adobera localizada en la Parroquia de Sinincay (Imagen 1), propiedad del Sr. Germán Contreras para la elaboración de los adobes, debido a las siguientes razones:

- El empleo de buenas prácticas en la fabricación de adobes, que incluyen el adecuado amasado de la materia prima, de la paja, con un correcto proceso de secado y apilado.
- La constante fabricación de adobes tradicionales.
- La capacidad de producir adobes tradicionales en diferentes formatos según las necesidades del cliente.



**Imagen 1:** Parroquias Rurales del Azuay

**Fuente:** Geoportal. 2024. [Mapa]. <http://ide.cuenca.gob.ec/geoportal-web/viewer.jsf>

Para el desarrollo de la presente tesis previo a la obtención del título de Arquitecto, se abarcará los siguientes espacios geográficos:

1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXAN LATITUD 2°49'55.4"S LONGITUD 78°59'31.9"W

La ubicación descrita se encuentra aproximadamente a 1,5 km del sector de Ochoa León y se accede desde la Vía a Chiquintad a través de un camino de lastre que se dirige hacia la comunidad de Tixán.

2. FABRICA DE ADOBE Sr. Germán Contreras 2°51'37.0"S 79°02'41.4"W

Ubicadas en la Parroquia de SININCAY, que se encuentra localizada en el cantón Cuenca al noroeste del territorio, en la Provincia del Azuay, al sur del Ecuador.

#### **1.4 Objetivos**

##### **1.4.1 Objetivo general**

Desarrollar un proceso para la fabricación de adobes que cumplan con las características mecánicas de resistencia a la compresión según normas técnicas establecidas utilizando un porcentaje de los lodos resultantes del proceso de tratamiento de agua en la planta de Tixán, ubicada en la ciudad de Cuenca, para el uso en la fabricación de muros portantes de viviendas.

##### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar un estudio exhaustivo sobre las técnicas utilizadas para la fabricación de adobe, con el objeto de obtener sus respectivas proporciones de materia prima.
- Producir piezas de adobe utilizando diferentes proporciones de reemplazo parcial de su materia prima por lodo residual de la planta de tratamiento de agua potable de Tixán para determinar las propiedades mecánicas de las mismas.
- Ensayar al menos el 60% de las piezas de adobe producidas, midiendo el grado de resistencia mecánica a la compresión.
- Interpretar los desenlaces alcanzados en los experimentos efectuados en el laboratorio con el propósito de crear la mejor sugerencia para la obtención de adobe como un producto autosustentable que cumpla las normativas locales y/o nacionales.

#### **1.5 Metodología**

Para la elaboración de este trabajo de titulación previo obtención del título de arquitecto, la metodología investigativa usada está dividida en 4 etapas: En la primera etapa, se ha

utilizado la investigación aplicada y documental, en base al estudio exhaustivo sobre las técnicas utilizadas para la fabricación del adobe, sus respectivas proporciones de materia prima, los procedimientos constructivos con sus normativas nacionales e internacionales. En una segunda etapa, se realizó una investigación experimental, produciendo piezas de adobe natural y adobes estabilizados, añadiendo diferentes proporciones de aglomerante a su materia prima con lodo residual obtenido en la planta de potabilización del agua de Tixán para determinar sus propiedades físico-mecánicas; diseñando las mezclas, fabricándolas, secándolas, culminando con ensayos de laboratorio. Para la tercera etapa, se utilizó una investigación cuantitativa, que permitió que los resultados de laboratorio sean interpretados con su respectiva explicación matemática. Por último, en una cuarta etapa, con la investigación correlacional, los desenlaces alcanzados en la anterior etapa determinaron las proporciones más adecuadas de aglomerante que crearon el mejor adobe como producto autosustentable, relacionándolo con los adobes naturales sin aglomerante elaborados de la misma tierra, comúnmente usados en la fabricación de muros portantes de las viviendas de construcción tradicional en la ciudad de Cuenca.

## CAPÍTULO II

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 El adobe

La ubicación mencionada está situada a aproximadamente 1,5 km de la zona de Ochoa León. Se puede acceder a ella desde la Vía a Chiquintad mediante un camino de lastre que conduce hacia la comunidad de Tixán. Y en el cantón Cuenca, las casas hechas de adobe representan la segunda opción más común en términos de sistemas de construcción, siendo superadas únicamente por las estructuras de mampostería elaboradas con ladrillo o bloque. (Orellana, 2017)



**Imagen 2:** Adobe Artesanal

**Fuente:** El Autor

##### 2.1.1 Introducción.

En esta tesis, se destaca la importancia de reconocer el papel fundamental que ha desempeñado la tierra como material constructivo a lo largo de la historia humana. El objetivo es entender cómo las técnicas ancestrales han evolucionado hacia elementos fabricados por el hombre, y cómo estas técnicas han perdurado hasta la actualidad, siendo adoptadas por diversas culturas, incluyendo la región austral. El estudio se enfoca en conocer los diferentes componentes que conforman el adobe, con el objetivo de comprender el efecto de cada uno. A partir de esto, se seleccionará la mezcla de los mismos con los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de agua potable de Tixán (PTAPT) para su

posterior mezcla con el adobe. Se detallarán las características del elemento estabilizante, y se determinará si su adición mejorará los bloques de tierra tradicionales como se plantea en esta tesis investigativa. Para evaluar la durabilidad del adobe y realizar pruebas mecánicas a la compresión, es importante considerar las diferentes normativas nacionales e internacionales vigentes hasta la fecha para la elaboración de este material de construcción.

## **2.2 Construcción con tierra a través del tiempo**

La utilización de la tierra arcillosa por parte del hombre en la construcción se remonta a los albores de las civilizaciones. Este material, con una antigüedad notable, ha sido empleado en la edificación de una amplia variedad de estructuras a lo largo de la historia, incluyendo viviendas, fortificaciones, muros, edificaciones públicas y religiosas e incluso la construcción de ciudades enteras. La elección de la tierra como material de construcción ha tenido un impacto significativo en la forma en que se desarrollan las edificaciones en todo el mundo. Actualmente, más de un tercio de la población mundial reside en viviendas construidas con este material. La arquitectura basada en materiales autóctonos ha desempeñado y sigue desempeñando un papel crucial en la formación de la identidad de diversas culturas locales, así como en el progreso humano a través de la expresión artística más básica. La elección de la tierra como material de construcción no solo ha sido influenciada por su abundancia y disponibilidad, sino también por sus propiedades únicas. La tierra no solo es un material sostenible y respetuoso con el medio ambiente, sino que también ofrece excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico. Además, la construcción con tierra ha permitido a las comunidades locales mantener y transmitir su conocimiento ancestral en la construcción de viviendas. Esta tradición ha sido fundamental para preservar la diversidad cultural y promover la identidad local. La elección de la tierra como material de construcción ha sido una forma de resistencia cultural y una expresión de la conexión entre las personas y su entorno. En resumen, la elección de la tierra como material de construcción ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la arquitectura y en la formación de la identidad cultural de diferentes comunidades en todo el mundo. Su uso sostenible y sus propiedades únicas han contribuido al progreso humano y a la expresión artística más básica. La tierra como recurso fundamental en la construcción ha dejado un legado histórico y cultural perdurable que demuestra su importancia a lo largo del tiempo.



**Imagen 3:** Gran Mezquita de Djenné en Malí

**Fuente:** Martha de Jong.Lantik. [imagen].

<https://eararquitecturadetierra.weebly.com/patrimonio-de-tierra.html>

### **2.3 Uso del suelo natural como material constructivo**

Este elemento ha sido empleado como material para la construcción desde tiempos ancestrales, existiendo técnicas de construcción con que se remontan sobre los 9000 años. En la Turquestán se descubrieron construcciones hechas de tierra que datan del período comprendido entre los años 8000-6000 a.C. (Pumpelly, 1908). En Asiria, se descubrieron bases de tierra compactada que se remontan hacia el 5000 A.C. Todas las culturas antiguas utilizaron la tierra no solo para edificaciones habitacionales, sino también para obras religiosas y fortalezas (Minke, 2001). En Turquestán tanto como en Asiria se descubrieron vestigios de viviendas de tierra que se acercan a 8000 y 10000 años de antigüedad (Calderón, 2013). Sin embargo, las evidencias arqueológicas nos muestran que las primeras aglomeraciones urbanas que utilizaron tierra como material de construcción se encontraban en la ciudad de Jericó (imagen 4). A lo largo de un extenso período de milenios, la tierra ha mantenido su posición como la materia prima más importante para la edificación de viviendas, partiendo de este ejemplo pionero. (Oteiza, 2002)



**Imagen 4:** Ciudad de Jericó

**Fuente:** Mi guía de viaje. 2024.[Fotografía]. <http://miguiadeviaje.com/la-ciudad-mas-antigua-del-mundo-jerico-cisjordania/>

## 2.4 El bloque de tierra

Este elemento de construcción diseñado por el hombre no tiene una datación precisa, aunque se sitúa aproximadamente en el Neolítico (alrededor de 5000 a.C.) (Calderón. 2013). Diferentes autores dicen que: La ciudad de Çatalhöyük, en Anatolia, ya tenía casas construidas con adobe desde el VII milenio antes de Cristo (Van der Smisse, 2011) y podría ser catalogada como la d mayor antigüedad. Otra de las primeras menciones del uso de adobe el registro histórico manifiesta que en Palestina, fue donde se utilizaban bloques de tierra secados al sol hace más de 9000 años, (López-Arce, 2013). Otra ciudad antigua, que probablemente fue la mayor ciudad construida en adobe antes del terremoto de 2003 es la ciudad de Arg-é Bam, perteneciente a la provincia de Kermán en Irán, en la que parte de sus edificaciones tienen uan antigüedad mayor a 2500 años. Es así que de esta forma el bloque de tierra fue usado primordialmente en el este de Asia, América del Sur, América Central, el norte de África, el oeste de Europa y el sur de Estados Unidos

. Con el paso del tiempo, el uso de este método de construcción ha sido adoptado a nivel mundial, adaptándose a nuevas formas y composiciones según las condiciones climáticas y la disponibilidad de materiales en cada área geográfica. Es así que la observación revela un estilo arquitectónico principalmente construido con adobe, el cual posibilita la edificación de estructuras de hasta nueve pisos. Un ejemplo destacado es la ciudad de Shibam, reconocida por la UNESCO como la planificación urbana más antigua y mejor conservada. (Jiménez, García, & López, 2016)



**Imagen 5:** The high-rise architectures at Shibam

**Fuente:** Jialiang Gao.

1999.[https://es.wikipedia.org/wiki/Shibam#/media/Archivo:Shibam\\_Wadi\\_Hadhramaut\\_Yemen.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Shibam#/media/Archivo:Shibam_Wadi_Hadhramaut_Yemen.jpg)

## 2.5 El adobe en América Latina

El adobe ha desempeñado un papel significativo en la arquitectura de América del Sur a lo largo de la historia. Este material de construcción, compuesto principalmente de arcilla, arena, agua y materiales orgánicos como paja o estiércol, ha sido utilizado para erigir viviendas, edificaciones y estructuras diversas en la región. La versatilidad del adobe se refleja en su capacidad para alcanzar alturas considerables, llegando incluso a nueve pisos, como se observa en la ciudad de Shibam, reconocida por la UNESCO como un ejemplo destacado de planificación urbana basada en la construcción vertical con adobe. Además, el adobe ofrece excelentes propiedades de aislamiento térmico, lo que contribuye a mantener una temperatura interior confortable durante todo el año y reduce la necesidad de sistemas de calefacción o refrigeración, razón por la cual es un material que puede ser usado para sobrellevar las diferentes zonas climáticas de América del Sur, mismas que cambian extremadamente en cortos períodos de tiempo. A pesar de sus ventajas, el adobe también presenta desafíos en términos de durabilidad frente a la humedad, aunque estos problemas

pueden mitigarse con un adecuado mantenimiento y técnicas de impermeabilización. Es importante destacar que el adobe es un material sostenible, así como respetuoso con el medio ambiente, ya que su producción no requiere procesos intensivos en energía teniendo la cualidad de ser biodegradable. En resumen, el adobe ha sido un componente fundamental en la arquitectura suramericana, ofreciendo una combinación única de resistencia, propiedades térmicas destacadas tanto como de sostenibilidad, dejando una huella significativa en el paisaje construido de cada región. En Sur América, se cuenta con un vasto conocimiento ancestral sobre arquitectura y construcción con tierra, el cual se adapta de manera adecuada



a los parámetros ambientales de cada hábitat (Gonzalo, 2012). El adobe, material utilizado en América del Sur, no fue introducido por los españoles, sino que ha sido utilizado en diferentes continentes desde tiempos muy antiguos (SUTTER, 1986).

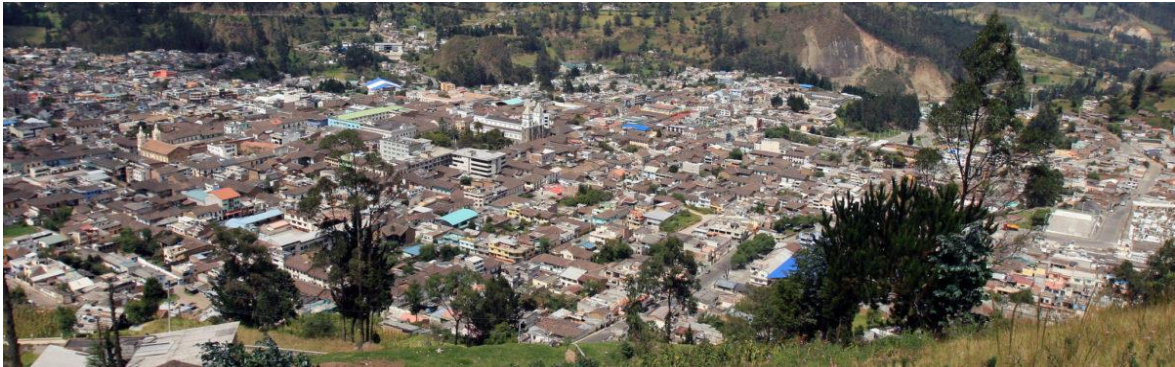
Imagen 6: Ciudadela de Chan-Chan, Perú

Fuente: denomades.com. [imagen]. <https://www.denomades.com/blog/ciudadela-de-chan-chan/>

### 2.5.1 El Adobe en Ecuador

Hasta hace unas décadas el 57% de las viviendas en Ecuador estaban construidas con ladrillo y cemento, mientras que cerca del 50% de la población utilizaba tecnologías tradicionales como la tierra, siendo comunes los muros con adobe y con tierra, tanto en zonas urbanas como rurales (Cevallos, 1992). Sin embargo, según el censo de población y vivienda de 2010, en Ecuador se tabularon 212,934 viviendas construidas con adobe o tapial, lo que representa el 5.68% del total de viviendas en el país. En la provincia de Azuay, este porcentaje aumenta significativamente, alcanzando el 20.80% (38,250 viviendas), lo que significa una quinta parte de las edificaciones en la provincia y se levantan utilizando el adobe como material de construcción. En Cuenca, las construcciones de adobe se ubican como el segundo sistema constructivo con mayor uso, superado solamente por las construcciones de ladrillo (Orellana, 2017). Este fenómeno refleja la persistencia de las

técnicas constructivas tradicionales en la región, a pesar de los avances en la tecnología de la construcción.



**Imagen 7:** Centro Histórico de Guaranda

**Fuente:** Alcaldía de Guaranda. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/fYkBMNyqjKmxgGoPA>

### 2.5.2 El adobe en Cuenca

La ciudad de Cuenca es reconocida por su rica tradición en la construcción con adobe. Su arquitectura histórica es el resultado de un largo proceso de construcción que ha perdurado por más de cinco siglos. A lo largo de este tiempo, el adobe ha jugado un papel fundamental en la historia, desarrollo y configuración del paisaje urbano de la ciudad. Sin embargo, con la llegada del movimiento moderno y el aumento en el uso de materiales "modernos" como el cemento en la construcción, se produjo una interrupción en la transmisión y preservación de esta tradición constructiva (Orellana, 2017). En nuestro contexto, el adobe es uno de los métodos de construcción más antiguos y tradicionales utilizados para construir viviendas. El centro histórico de Cuenca, declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en 1999, es un claro ejemplo del papel fundamental que el adobe ha desempeñado en la historia, desarrollo y configuración del paisaje urbano arquitectónico de nuestras ciudades (Orellana, 2017).

**Imagen 8:** Varias edificaciones de Cuenca están construidas a base de adobe.

**Fuente:** XCA.2023. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/PWEx7xN6agE3NpGs7>

### 2.6 Tipos de adobe

La historia del adobe en el contexto de material de construcción se remonta a épocas milenarias, siendo un pilar fundamental en la arquitectura tradicional de diversas culturas alrededor del mundo. El adobe, compuesto mayormente por barro, paja y en ocasiones otros elementos, ha demostrado su durabilidad y resistencia a lo largo de los siglos. En el



**Imagen 9:** Adobes estabilizados

**Fuente:** El autor

de adobe, su idoneidad para distintos entornos climáticos y geográficos, con su potencial para contribuir a la sostenibilidad en la construcción moderna. El conocimiento detallado de estos aspectos es esencial para la preservación y promoción del adobe como una opción constructiva resiliente y sostenible en el contexto contemporáneo. En seguida, se indica los tipos de adobe en consideración de lo antes mencionado.

### **2.6.1 Según el tiempo.**

Los adobes han acompañado en la construcción de casas para que el hombre sedentario hace milenios y en este trabajo de investigación he decidido en primera instancia datar su

desarrollo de esta tesis, se abordará en profundidad la diversidad de tipos de adobe, tomando en consideración su longevidad, los métodos de elaboración utilizados y la composición específica de cada variante. Es por esto que, el tiempo de existencia con el uso de los distintos tipos de adobe es un aspecto crucial que revela valiosa información sobre su desempeño a lo largo de las décadas e incluso siglos. Asimismo, los métodos de elaboración empleados para la fabricación de cada tipo de adobe son determinantes en sus propiedades físicas y químicas, así como en su resistencia a factores climáticos y ambientales. La composición detallada de los materiales utilizados en la elaboración del adobe, incluyendo la proporción de barro, paja y otros aditivos, también desempeña un papel fundamental en sus características finales. A través de un análisis exhaustivo de los tipos de adobe en base a su tiempo de existencia, métodos de elaboración y composición, se busca comprender a fondo las particularidades de cada variante. Este estudio permitirá identificar las propiedades únicas de cada tipo

presencia a través del tiempo, colocándoles en asentamientos de acuerdo al conjunto de personas y no precisamente al lugar de construcción de los mismos. Los adobes al formar parte de la vida del ser humano deben ser datados en tiempo por su presencia en las diferentes aglomeraciones de los individuos puesto que se relacionan con su cultura y necesidades de ese entorno en particular, que influyen directamente en su constitución de materialidad tanto como en su tamaño para ser parte de su supervivencia en el entorno. Es así que se detalla 3 tipos diferentes de adobes a continuación:

- **Adobes Aborígenes:** En la actualidad, los adobes se pueden encontrar en toda América Latina. El proceso de fabricación de los adobes varía en cada región de manera estricta. Cada región tiene diferentes métodos para elaborarlos, pero en general se ha encontrado que se utiliza tierra y paja. Los tamaños de los adobes también varían, con longitudes que van desde 45 cm hasta 1.10 m, anchos de 10 a 29 cm y alturas de 6 a 12 cm.
- **Adobe Colonial:** Los adobes coloniales son producidos siguiendo la tradición indígena, pero los españoles han introducido estiércol, reducido la cantidad de paja y disminuido la cantidad de grava. En términos generales, los adobes coloniales tienen dimensiones que varían entre 45 y 61 cm de longitud, 19 y 30 cm de ancho, y entre 10 y 16 cm de altura. Estos adobes se pueden encontrar en toda el área andina.
- **Adobe Tradicional:** Los materiales de tierra cruda son una mezcla de tierra, arena y una proporción de arcilla o cal, combinados con agua pura. Estos materiales tienen dimensiones que van desde 40 a 55 cm de longitud, 20 a 30 cm de ancho y 10 a 15 cm de altura. El porcentaje de arcilla varía entre 15% y 17%. Es importante que el suelo no contenga ninguna materia orgánica ni sales. Según el método de elaboración.

Los adobes al ser de tierra cruda (no cocido) presenta cualidades muy susceptibles en la forma de elaboración, para que cumplan el papel para lo que fueron diseñados. Es así que el mínimo cambio en su elaboración producirá cambios radicales en su resistencia a la compresión, aislamiento y duración en la construcción. Los métodos en este espacio serán explicados posteriormente, en este espacio el objetivo es diferenciarlos, mas no analizar su resultado final, por lo consiguiente los adobes según su método de elaboración se dividen en 2 grupos:

1. Adobes Naturales: Son aquellos hechos a mano utilizando tierra, utilizando moldes de madera y secados al medio ambiente, de forma natural (imagen 10).
2. Bloques de tierra comprimida (BTC): Es el proceso en el cual la tierra húmeda se comprime utilizando una prensa manual o mecánica (imagen 11).



**Imagen 11:** Adobe Natural

**Fuente:** El autor



**Imagen 10:** Máquina para elaboración de BTC.

**Fuente:** Saborit, Elena. 2018. [imagen].

<https://pctclm.com/maquina-para-la-elaboracion-manual-de-bloques-de-tierra-comprimida/>

### 2.6.2 Según su composición.

La tierra utilizada como material de construcción se acata al lugar de extracción y admite en su composición muchos materiales, algunos mejoran su desenvolvimiento y otros disminuyen su resistencia, es por lo consiguiente que este trabajo investigativo trata de obtener un adobe mejorado utilizando recursos provenientes de la misma naturaleza, analizando el porcentaje para obtener el resultado más óptimo para su uso en el aspecto constructivo, en servicio del ser humano, y en consideración de lo expuesto, los adobes según su composición tienen sus propias cualidades y se dividen en 3 grupos:

#### **Adobe no estabilizado**

El adobe sin estabilizar comúnmente incluye paja como parte fundamental del bloque para brindar rigidez y evitar la formación de grietas durante el proceso de secado. Sin embargo, si la proporción de arcilla y arena es adecuada, no es necesario utilizar paja. Si el adobe se agrieta al secarse, es porque tiene un exceso de arcilla. En la construcción, los bloques de adobe se unen mediante mortero de barro.

### **Adobe semi-estabilizado**

Este tipo de adobe tiene la incorporación de un agente estabilizador o impermeabilizante en su composición haciéndole resistente a la humedad, el estabilizante representa entre un 3% y un 5% de su peso. Los lodos residuales de (PTAP) serán experimentados para determinar si es factible su incorporación a la elaboración del adobe, sabiendo que también se puede utilizar un 5% a 10% de cemento Portland para esperar un mejoramiento de los adobes.

### **Adobe estabilizado**

El adobe

El adobe estabilizado es una forma mejorada de adobe que contiene materiales adicionales para mejorar sus propiedades resistentes. El adobe en sí es hecho principalmente de barro y consiste en una mezcla de arcilla, limo, arena, grava y agua. Para estabilizar el adobe, se utilizan diferentes materiales, siendo los más comunes la cal, el cemento y el asfalto. Estos estabilizadores se agregan a la mezcla de adobe antes de verterla en los moldes. Además de estos estabilizadores, también existen otros tipos de estabilizadores como minerales, orgánicos y sintéticos.

#### **2.7 Tipos de estabilizantes utilizados en los adobes naturales**

La estabilización del adobe implica modificar las propiedades del material, controlando la relación entre la tierra, el agua y el aire, para que adquiera características adecuadas para su uso previsto. Este proceso requiere tener en cuenta diferentes parámetros, como las propiedades del adobe que se desea estabilizar, la viabilidad económica, las técnicas constructivas y el costo de mantenimiento. La estabilización de la tierra mejora las características físicas y mecánicas del adobe, otorgándole nuevas propiedades y asegurando su durabilidad a lo largo del tiempo. En el Manual de Construcción en tierra de Gernot Minke se mencionan tres métodos para estabilizar la tierra: Estabilización física, Estabilización mecánica, Estabilización química. Cada método de estabilización tiene sus ventajas y desventajas, y la elección del método adecuado depende de las características específicas del

proyecto de construcción en tierra. Es importante evaluar cuidadosamente cada opción y considerar factores como la disponibilidad de materiales, el costo y la durabilidad deseada del adobe.

#### **2.7.1 Estabilización Física del adobe.**

Esta estabilización es utilizada para mejorar la composición del suelo mediante alteraciones físicas, logrando una granulometría adecuada mediante la adición de materiales granulares y cohesivos a la mezcla de origen. Aunque la estabilización del suelo mediante mezclas es común, por sí sola no siempre logra los efectos deseados, por lo que se requiere la compactación como complemento. Por ejemplo, los suelos de grano grueso, como las gravas arenas limpias, tienen una alta fricción interna que les permite resistir grandes esfuerzos, pero esta característica no garantiza su estabilidad, ya que, al carecer de cohesión, sus partículas pueden desplazarse libremente y separarse bajo cargas. Por otro lado, las arcillas presentan una gran cohesión y escasa fricción, lo que hace que pierdan estabilidad en condiciones de alta humedad. La combinación adecuada de estos dos tipos de suelos puede resultar en un material estable, aprovechando la alta fricción interna de uno y la cohesión del otro para mantener unidas las partículas. (Zuluaga, 2005).

#### **2.7.2 Estabilización mecánica.**

Es un proceso en el cual se utiliza prensas mecánicas o manuales para compactar el suelo, lo que resulta en una mayor densidad del suelo y una mejora en su capacidad de carga. Esto se logra al aumentar la cohesión entre las partículas de barro y mejorar la estabilidad del suelo, lo que a su vez resulta en suelos menos deformables. Un autor describe este proceso de la siguiente manera: La compactación del barro mediante fuerza estática para aumentar su resistencia a la compresión suele ser menos efectiva que agitar o compactar la mezcla durante el vibrado (mediante la aplicación de fuerza). Cuando un objeto pesado cae sobre el barro, se producen ondas que generan vibraciones en las partículas del barro. Estas vibraciones resultantes provocan movimientos en las partículas, lo que permite que adopten un patrón más denso. Si además hay suficiente agua presente, los minerales de arcilla presentes en el barro forman una estructura más ordenada. Esta estructura ordenada aumenta la cohesión y resistencia a la compresión del barro. (Minke, 2001)

#### **2.7.3 Estabilización química.**

La estabilización química en el contexto de suelos implica añadir productos químicos que interactúan con los componentes del suelo con el objetivo de mejorar ciertas características.

El cemento y el bitumen se consideran estabilizadores efectivos para suelos arcillosos, aunque es importante tener en cuenta el tipo específico de arcilla (Minke, 2001). En la actualidad, se ha utilizado una amplia variedad de productos químicos con el propósito mencionado. Muchos de ellos han dado resultados satisfactorios. Aunque no es común, el uso de productos ácidos para la estabilización está ganando popularidad y se están realizando experimentos al respecto. Algunos ácidos han demostrado ser efectivos para mejorar ciertos tipos de suelos y además son económicamente competitivos en comparación con otros productos más comunes. Sin embargo, al igual que con los otros productos mencionados anteriormente, es importante asesorarse con expertos en la materia tanto en la etapa de diseño como en la etapa de construcción. Esto se debe a que existen riesgos tanto para las personas como para los equipos involucrados (Zuluaga, 2005).

## **2.8 Materiales usados como estabilizadores del adobe natural**

Los productos provenientes de origen mineral son los más utilizados, puesto que al formar parte de la llamada tierra cruda, ésta se obteniéndose naturalmente de la extracción que forma parte de los materiales originarios como son la arena, arcilla y limos que constituyen los materiales básicos que forman un adobe. En la elaboración de un adobe artesanal no se considera agregar estos minerales de forma premeditada, pero a continuación se explica las características de dichos materiales.

### **2.8.1 Productos puzolánicos.**

La puzolana o ceniza volcánica es un material silíceo-aluminoso que se encuentra de forma natural. Al igual que la pómez o pumita, que también son considerados materiales puzolánicos naturales disponibles en nuestro entorno. Estos materiales, cuando se utilizan solas, es decir, sin mezclarse con otros materiales, no poseen propiedades cementantes. Sin embargo, Cuando se combinan materiales como la cal con otros, se generan compuestos estables que tienen propiedades de conglomerantes hidráulicos (Molina Larrea, 2014).

#### **a. Cemento como material estabilizador.**

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le permiten unir



fragmentos minerales para formar una masa compacta. Se utiliza como aglomerante hidráulico en la producción de hormigón debido a sus cualidades físicas. Este material mejora la permeabilidad y compresión de los adobes, convirtiéndolo en un material de una aplicación excelente.

**Imagen 12:** Cemento Portland

**Fuente:** Rubi Blog. 2023. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/7wa5ShFt7LJ43ek18>

#### **2.1.1.1 Cal como estabilizante.**

Este mineral para su utilización en la construcción se origina de la calcinación de la piedra



caliza, cuyas cualidades dependen de la materia prima obtenida (piedra caliza) (Otero, 2010). La cal mejora la permeabilidad del producto y también aumenta la resistencia a la compresión. Este producto de adición aumenta considerablemente la resistencia del adobe a la compresión.

**Imagen 13:** Que es la cal y sus características.

**Fuente:** Mycal. 2021 [imagen]. <https://images.app.goo.gl/LrBtLPX26Va2nENi7>

#### **3.1.1.1 Yeso como estabilizante.**

El mineral utilizado en la construcción desde la antigüedad es el yeso, que se obtiene de la piedra de yeso. El yeso tiene una capacidad única de deshidratarse parcialmente a bajas temperaturas, lo que lo hace muy útil en la construcción. Hoy en día es utilizado mayormente

para la fabricación de bóvedas, enlucidos, pavimentos, recubrimiento, etc. Es necesario



recaltar que este material no mejora por si solo la permeabilidad y sin embargo puede mejorar su resistencia del producto final, dependiendo de la cantidad y su interacción con el agua, considerándose en parámetros generales como un buen estabilizante para su uso en la construcción

**Imagen 14:** Diversas aplicaciones del yeso.

**Fuente:** MNHomeCenter. s/f [imagen]. <https://images.app.goo.gl/U11ArSEkzJg2x6gGA>

## 2.8.2 Productos sintéticos como estabilizante.

### a. Resinas acrílicas.

La resina acrílica es un polímero sintético que se deriva del polimetacrilato de metilo. A partir de este polímero se producen compuestos sintéticos como el metacrilato y la pintura acrílica. Es importante destacar que el proceso de fabricación de recubrimientos comerciales utilizando la polimerización por emulsión es un proceso discontinuo. El producto final



contiene aproximadamente un 50% de resina acrílica, según la Encuesta Anual de Manufactura y Minería del INEC en 1998. Esta resina mejora las características técnicas en términos de compresión y permeabilidad, lo que la convierte en un producto de alta calidad.

**Imagen 15:** ¿Qué es la resina acrílica?

**Fuente:** Isuochem. 2019. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/BuTE3SchgX1xcthK6>

### 4.1.1.1 Resinas epoxi como estabilizante.

La resina epoxi es un tipo de polímero termoestable que se compone de dos componentes: resinas y un agente catalizador. Estos adhesivos rígidos son conocidos por su alta resistencia a tensiones y cargas. Su uso puede mejorar la



resistencia a la compresión de una pieza. Sin embargo, no existen datos verificables que confirmen su efectividad en mejorar la permeabilidad. Por lo tanto, se puede considerar como un material regular o bueno en este aspecto.

**Imagen 16:** Como trabajar con resina epoxi.

**Fuente:** RubiBlog. 2023. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/zbJBeoyr1TxHWf159>

### **2.8.3 Productos asfálticos como estabilizante.**

Los productos bituminosos son materiales que tienen propiedades de unión. Se clasifican como materiales bituminosos aquellos que contienen asfaltos naturales, betunes asfálticos de penetración, betunes asfálticos de oxidación, alquitranes o breas. Estos materiales son



derivados del petróleo y se conocen como asfaltos, betunes asfálticos o bitumen. Estos productos se consideran de muy buena calidad, ya que mejoran la resistencia a la compresión y la permeabilidad de la pieza.

**Imagen 17:** Impermeabilizante asfáltico

**Fuente:** MNHomeCenter. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/g3dzHeYridF9oizu8>

#### **a. Silicato de sodio.**

El químico industrial conocido también como vidrio soluble ha sido utilizado desde tiempos antiguos. El desenvolvimiento del mismo se ha dado principalmente por lo simple en su proceso de elaboración. Este material se emplea principalmente como ingrediente en la producción de jabones, cerámica y en el fortalecimiento de suelos. El compuesto muestra una reacción positiva en términos de mejorar las propiedades de compresión y permeabilidad, por lo tanto, se considera de excelente calidad.



**Imagen 18:** Silicato de Sodio

**Fuente:** Glassven. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/AFKKH1icziuH9KQt7>

#### 5.1.1.1 *Aceite de linaza como estabilizante.*

El uso de resinas en la industria tiene varias aplicaciones, una de ellas es la fabricación de barnices para pinturas con el objetivo de mejorar sus propiedades de impermeabilización. Además, el aceite de linaza se utiliza para proporcionar propiedades impermeabilizantes a la



mezcla de tierra y mejorar su resistencia a la compresión. Según Minke (2001), al optimizar las características de compresión y permeabilidad de los bloques de tierra, se puede obtener un resultado de excelente calidad.

**Imagen 19:** Aceite de Linaza todos los beneficios.

**Fuente:** Espada, Blanca. 2020. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/GrDiT28WKCz9CfXQ7>

#### 2.8.4 Fibras naturales utilizados como estabilizantes.

##### **Cabuya.**

Es una fibra vegetal que se obtiene del penco, una planta con hojas gruesas y carnosas que pueden alcanzar hasta 4 metros de diámetro y retienen una gran cantidad de agua. Cuando la planta tiene entre siete y diez años, crece una roseta que puede llegar a medir hasta 10 metros de altura. En Ecuador, esta planta es conocida como cabuya negra, el penco cuyo

nombre científico es Agave. Debido a su naturaleza como fibra vegetal, se ha observado que cuando se mezcla con tierra, ayuda a mejorar las condiciones de retracción de las piezas (Imagen 20). Además, se ha mencionado que el uso de esta fibra podría mejorar la resistencia



a la compresión del bloque de tierra, lo que la convierte en un material sumamente beneficioso para este propósito.

**Imagen 20:** Elaboración de fibra de cabuya.

**Fuente:** Pruna, Luis. Velasco, Fabián. Chachapoya, Fabián. 2020. [imagen].

<https://images.app.goo.gl/DGA2T58FiWq2mtwP6>

### **Cáscara de arroz.**

La "pajilla" es un producto vegetal, también conocido como "paja", que se considera un subproducto de la producción de arroz. La cáscara de arroz tiene una composición y estructura similar a la madera, ya que contiene componentes como celulosa, lignina, resinas



y una alta proporción de sílice (18%). Estas características son beneficiosas, ya que contribuyen mínimamente a mejorar la resistencia y permeabilidad del barro.

**Imagen 21:** Cáscara de arroz.

**Fuente:** Construible.es. 2020. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/kqSKiCuFjfJuKdT6>

### **Aserrín.**

Las virutas son pequeñas partículas que se generan al cortar la madera con herramientas eléctricas o manuales. Estas virutas, son fibras que tienen propiedades estabilizantes y pueden tener efectos similares a los de la cabuya. Este fenómeno es relevante en el contexto



**Imagen 22:** La Textura del aserrín de la madera.

**Fuente:** 123RF. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/K3HJtff9sC8japqV8>

### **Viruta.**

Las virutas son trozos diminutos de material, ya sea plano o curvo, que adoptan una forma en espiral y se generan al ejecutar operaciones de perforación, rebajado o cepillado en maderas o metales con el uso de cepillos u otras herramientas como brocas. Asimismo, estas



de la industria maderera y la carpintería, donde el manejo y la utilización de virutas de madera pueden tener implicaciones significativas en diversos procesos y aplicaciones.

fibras poseen propiedades similares a las de la cabuya. Este fenómeno es de particular importancia en los campos de la carpintería, la ebanistería y la industria manufacturera, donde el manejo y la utilización eficaz de las virutas resulta crucial en diversos procesos y aplicaciones.

**Imagen 23:** Viruta.

**Fuente:** agroscoPIO.com. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/3UrVDMSotyD6N1PY7>

## **2.9 Planta de tratamiento de agua potable de Tixán (PTAP)**

Para comprender el funcionamiento de esta instalación y entender la generación de lodos residuales en el proceso de purificación del agua en la ciudad de Cuenca, se llevaron a cabo



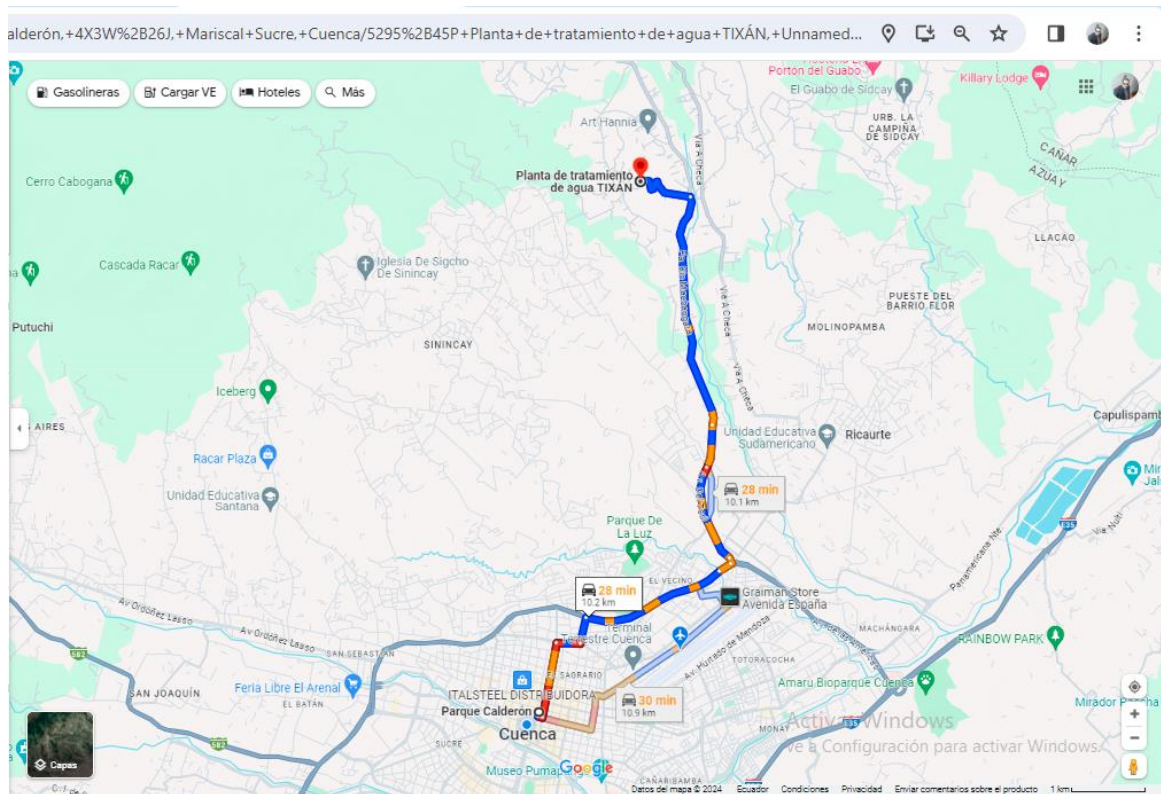
**Imagen 24:** Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán.

**Fuente:** El autor

la recopilación de datos in situ. La orientación técnica proporcionada por el director de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán, ha sido esencial para el desarrollo de esta sección en el presente documento de investigación. Los distintos pasos para purificar el agua y, como resultado, obtener lodos residuales al final de este proceso, fueron adquiridos de manera directa a través de la explicación de varias personas a cargo de las diferentes áreas que componen la planta de purificación. Los lodos residuales, antes de su disposición final, reciben un tratamiento especial, ya que es necesario reducir el impacto ambiental que causan en la naturaleza, afectando así tanto a la población del área específica como en general.

### **2.9.1 Ubicación.**

Esta zona se encuentra situada en el sector de Ochoa León y se puede acceder a ella a través del camino de tercer orden que conduce hacia Tixán. La planta pertenece a la parroquia de Chiquintad del Cantón Cuenca y se encuentra ubicada a la izquierda del canal de riego Machángara, a una altitud de 2.690 metros sobre el nivel del mar. El agua para el canal de riego proviene de la fuente de abastecimiento que nace en la cordillera Machángara, la cual tiene una cuenca de aporte con un área de 208 Km<sup>2</sup>. Las coordenadas de este lugar son: X = 723118; Y = 9686744 WGS84.



**Imagen 25:** Ubicación PTAP

**Fuente:** Google Maps. 2024. [mapa]. <https://maps.app.goo.gl/4zCG5MpvwFnptUKg8>

### 2.9.2 Descripción.

La PTAP de Tixán es una instalación que se encarga de la purificación de agua para la ciudad de Cuenca, Ecuador. Tiene una capacidad máxima de 840 litros por segundo (l/s) y actualmente se está ampliando para aumentar su capacidad, la planta abastece al 44% de la población de la zona, incluyendo las parroquias: Nulti, Bellavista, Hermano Miguel, , Huayna Cápac, Challuabamba, Totoracoche El Valle y Parque Industrial. El agua a ser purificada por la planta proviene del Río Machángara, que aporta en una extensión de casi 208 km<sup>2</sup>. Las condiciones del agua que llega a ser tratada varían a través del año considerando la estación del año (verano o invierno). Las regulaciones que se han impuesto al proceso de purificación del agua discrepan a la realidad del flujo continuo que depende de los cambios climáticos rápidos y de muy corta duración. La Planta de Tratamiento de Tixán consta de dos módulos, que son descritos a continuación:

- El primer módulo, conocido como módulo I, comenzó a funcionar en 1996. Es un sistema convencional que incluye procesos de coagulación, floculación, decantación, filtración rápida y desinfección. Durante la 1era Fase de los Planes Maestros (1992),

la PTAP de Tixán se concibió, en dos módulos idénticos. (Memoria Técnica Planta de Tixan.pdf, 2015).

- El segundo módulo, llamado módulo II, su construcción comenzó en marzo de 2017 con una capacidad de 1100 l/s. Con esta ampliación, se espera que la planta pueda abastecer a más o menos 550.000 habitantes de la ciudad de Cuenca (Cuenca.gov.ec, 2017).



**Imagen 26:** Módulo I (PTAP).

**Fuente:** El Autor



**Imagen 27:** Módulo II (PTAP).

**Fuente:** El Autor

### **2.9.3 Proceso de potabilización del agua cruda.**

Según la clasificación de las fuentes de agua cruda establecida en la Norma Nacional, CPE INEN 5 Parte 9-1, sexta parte: Potabilización del agua y teniendo en cuenta los resultados de la caracterización y pruebas de tratabilidad realizadas en las aguas del río Machángara, es factible categorizar esta fuente como Tipo D, el cual se define como aguas superficiales provenientes de cuencas no protegidas y que requieren tratamiento de coagulación debido a sus características (Diseños definitivos Módulo II de la PTAP de Tixán Memoria Técnica,

2015). A continuación, se explican cada uno de los pasos que sigue la potabilización de agua cruda en la PTAP.

a. Coagulación y sedimentación

El sulfato de aluminio como elemento coagulante es un proceso utilizado en el tratamiento de agua para eliminar partículas en suspensión y otras impurezas. Este compuesto inorgánico, comúnmente conocido como alumbre, es ampliamente utilizado en la purificación de agua potable y para elaboración de papel. Éste compuesto actúa neutralizando las cargas eléctricas de las partículas en suspensión, lo que permite que estas se agrupen formando flóculos. Estos flóculos, al ser más grandes, pueden ser filtrados con mayor facilidad. El proceso de coagulación con sulfato de aluminio es fundamental para la clarificación del agua, ya que permite que las impurezas en suspensión se coagulen en partículas más grandes que luego se asientan o se filtran más fácilmente. Además, el sulfato de aluminio es utilizado en piscinas y en el tratamiento de aguas industriales para evitar la formación de gérmenes y algas. Posteriormente, el agua pasa por un proceso de sedimentación, donde se eliminan la mayoría de las impurezas. Este procedimiento es crucial para obtener agua de óptima calidad.

b. Filtración.

El tratamiento del agua implica el uso de arena y de carbón mineral, dispuestos en capas. Durante esta fase, todas las partículas presentes en el agua son sometidas a filtración a través de ocho unidades interconectadas que contienen lechos dobles de arena y antracita. Estas unidades están fabricadas en concreto y poseen boquillas de plástico tipo EI-MCO que posibilitan la aplicación de aire o agua.

c. Desinfección.

En esta fase es donde se lleva a cabo la erradicación de todas las bacterias que hayan logrado sobrevivir a los pasos anteriores. Tanto en esta planta como en la de El Cebollar, se emplea cloro en estado gaseoso para desinfectar el agua.

d. Monitoreos.

Las revisiones constantes son de suma importancia para asegurar el adecuado tratamiento del agua destinada al consumo humano. A lo largo del año se lleva un control exhaustivo, el mismo que puede ser trimestral o cada mes, dependiendo de la situación climática. Las variables físicas, bacteriológicas y químicas estudiadas contemplan la temperatura, el pH, la

DBO5, la turbidez, los coliformes, los nitratos, el fósforo total, los sólidos totales y la conductividad. Las cantidades necesarias de sustancias que se añaden durante el proceso de potabilización dependen de las variables mencionadas con anterioridad. El control y registro de datos está a cargo de autómatas de lógica programable. El centro de control cuenta con dos ordenadores, uno para visualizar las operaciones, alarmas e introducir órdenes, y otro para visualizar y registrar las reservas, caudales y niveles de entrada tanto como de salida. Se puede apreciar claramente la similitud en el tratamiento que recibe el agua antes de ser distribuida a toda la ciudad de Cuenca, lo que garantiza una alta calidad y uniformidad en el suministro de agua potable.

#### **2.9.4 Adición de sulfato de aluminio.**

La PTAP está constituida por 3 tanques dispuestas en paralelo para la adición de la solución aluminosa, misma que es añadida en la proporción de 13 sacos en cada tanque, lo que representa el 3.25% del total. La planta utiliza el sulfato de aluminio granulado tipo B, el cual tiene una concentración de alúmina soluble identificada como  $Al_2O_3$  del 15.3%.

#### **2.9.5 Influencia de la incorporación de lodo aluminoso.**

Según algunos autores plantean que la dosificación de sulfato de aluminio varía según las estaciones del año, aumentando durante el invierno y creando una mayor concentración de hidróxidos de aluminio (Torres, Hernández y Paredes, 2012). Es así que resultaría en elementos finales más resistentes. (Chen-Feng-Chao, 1994), (Stamenkovic, 1977) y (Salvini, 2001). Además, el contenido de alúmina del 20 - 30% otorga plasticidad a la materia prima y en grandes cantidades provocaría contracciones elevadas durante el secado de los adobes producidos según los resultados obtenidos por estudios referidos a los datos estudiados en CONSTRUAPRENDE página de estudios en ingeniería y construcción. La producción de adobes ha sido objeto de investigación en relación con el grado de absorción y la resistencia a la compresión en función del porcentaje de lodo aluminoso. Los estudios han demostrado que el aumento en la incorporación de lodo genera una disminución en la resistencia mecánica y un aumento en la capacidad de absorber agua. Según Torres (2012), el porcentaje adecuado de lodo para reemplazar en las mezclas para la elaboración de ladrillos sería del 10%, lo cual se podría verificar durante la fase de experimentación en relación con las piezas de adobe. Además, las pruebas han determinado que los lodos retienen humedad a pesar de tener una alta compresibilidad. Chen-Feng y Yung-Chao (1994) sugieren aumentar el período de secado o reducir la humedad inicial del lodo antes del proceso de reemplazo. Por

otro lado, Andreolli (2004) encontró resistencias a la compresión entre 80 y 100 kg/cm<sup>2</sup> mediante la incorporación de un 4.17% de lodos. Guimaraes y Morita (2003) demostraron que se podría incorporar hasta el 45% de lodo en las mezclas con una humedad presente en el lodo del 40%, y hasta un 10% de lodo en caso de una humedad del 75%. Para lograr una estructura más estable y rígida, se propone la incorporación de acondicionadores físicos, basándose en el ejemplo de Espetjel et al. (2002), donde se encontró una absorción de humedad del 29% con el 50% de lodos aluminosos (Zhao, 2002). Es importante tener en cuenta que las pruebas mencionadas se refieren a la adición de lodos aluminosos para producir ladrillos, pero pueden servir como una guía para la adición de lodos aluminosos como estabilizante en la producción de adobes.

### **2.10 Lodo residual resultado de la planta purificadora de agua de Tixán.**

En Ecuador, al igual que en otros países, el tratamiento del agua para hacerla potable ha presentado un desafío en términos de gestión y eliminación de los lodos generados durante este proceso. Estos lodos tienen un alto contenido de agua y su capacidad de deshidratación es limitada, especialmente aquellos generados por el uso de sulfato de aluminio como coagulante. Para cumplir con los requisitos ambientales, se establece que los lodos deben ser depositados en el vertedero sanitario de la ciudad para evitar afectar áreas sin tratamiento, lo que podría tener un impacto ambiental significativo. El volumen de lodos generado representa entre el 0.3% y el 1% del agua tratada (Sandoval, 1998).

#### **2.10.1 Tratamiento de lodos residuales.**

El tratamiento de lodos residuales de la purificación de agua es un proceso crucial en el manejo de los residuos generados durante los procesos de tratamiento de aguas residuales. Éstos lodos residuales pueden clasificarse de varias maneras, incluyendo su origen (urbanos o industriales), la etapa del tratamiento de agua residual en la que se generan (primarios, secundarios, mixtos, terciarios) y el tipo de tratamiento en la línea de lodos (espesamiento, estabilización, deshidratación). En el contexto de la purificación del agua, el tratamiento de lodos residuales es fundamental para garantizar la reducción del volumen y peso del residuo a enviar a gestores, así como para la reutilización del agua tratada, lo que contribuye a la sostenibilidad y eficiencia de los procesos de tratamiento de aguas residuales industriales. El tratamiento de lodos residuales implica procesos mecánicos, biológicos y químicos para la purificación de las aguas residuales en las plantas de tratamiento. Estos procesos incluyen la recuperación del coagulante por acidificación y el tratamiento de los fangos residuales

neutralizados en filtros al vacío, filtros de prensa o centrifugadores. además, el aprovechamiento energético de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales tiene amplios beneficios colaterales, no solo en términos de ahorro, lo que destaca la importancia de considerar enfoques sostenibles y de economía circular en el tratamiento de aguas residuales. En resumen, el tratamiento de lodos residuales de la purificación de agua es un aspecto crucial en la gestión de los residuos generados durante los procesos de tratamiento de aguas residuales, con implicaciones significativas para la sostenibilidad, la eficiencia y la economía circular en el manejo del agua y los recursos naturales. Los procesos detallados a continuación se refieren a los utilizados específicamente en la PTAP de Tixán, y son los siguientes:

a. Decantadores

La decantación implica la separación de los contenidos sólidos y el agua capilar del lodo, aprovechando las diferencias de peso en una forma natural utilizando la gravedad. Este proceso se lleva a cabo en 2 depósitos paralelos que reciben los afluentes de los sedimentadores y limpieza de filtros, capturando un total volumen de 2.83 metros cúbicos.

b. Espesadores

También operando en paralelo, tienen como objetivo lograr la mayor concentración de sólidos antes de la etapa de deshidratación. Los lodos residuales se extraen de estas unidades y se bombean a la fase final de deshidratación mecánica.

c. Deshidratación de lodos

La reducción del volumen de agua capilar y de adhesión es una parte fundamental del proceso de tratamiento de lodos para hacer más eficiente el transporte hasta su disposición final. En este proceso, se utilizan filtros de banda que tienen un ancho de 1.50 m. Antes de pasar por estos filtros, se añade un polímero al lodo para facilitar su manejo. Luego, el lodo es transportado entre dos bandas sin fin, lo que permite la compresión gradual del lodo. Como resultado, los lodos deshidratados alcanzan una concentración del 15 al 20%. Este sistema de filtración y deshidratación es crucial para reducir el volumen de los lodos y hacer más eficiente su manejo.

d. Almacenamiento temporal de lodos

Los lodos deshidratados son recolectados y transportados a una tolva donde se almacenarán antes de ser descargados en volquetes para su final depósito.

e. Disposición final de lodos residuales

Debido a la evaluación de las propiedades de los lodos aluminosos y al proceso utilizado para reducir su contenido de agua, dichos lodos muestran niveles elevados de aluminio, materia orgánica y contaminación microbiológica. Por este motivo, se ha determinado que serán llevados al relleno sanitario de Pichacay, sin ser aprovechados por la población.

### **2.10.2 Características del lodo residual**

Los componentes del lodo utilizado en el proceso de potabilización del agua están compuestos principalmente por óxidos e hidróxidos que provienen de los reactivos agregados al agua. La composición del lodo puede variar dependiendo del origen del agua, la cantidad de reactivos utilizados y los sistemas de tratamiento empleados. Es importante tener en cuenta que el lodo puede cambiar significativamente según la estación climática en la que se haya generado. Por esta razón, es necesario llevar a cabo un control exhaustivo en la caracterización de los lodos generados durante el proceso de tratamiento. Sin embargo, en esta investigación no se analizarán los lodos residuales en laboratorio debido a que los tiempos requeridos para obtener los resultados retrasarían la finalización del estudio. En cambio, se utilizará diferentes estudios de caracterización de los lodos aluminosos de la planta que proporcionará las muestras objeto de prueba en esta investigación. Los lodos fueron recolectados en época de invierno después de haber sido almacenados por 1 semana en la tolva de la planta.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO DE CAMPO

En este capítulo se investigarán las normativas para el adobe nacionales e internacionales para determinar la forma más adecuada de elaboración. Ya que estos parámetros son cruciales para realizar una comparación con los resultados de los ensayos a la compresión practicados a los adobes estabilizados con lodos aluminosos de la PTAP fuente de esta investigación. La tierra está siendo cada vez más valorada como material de construcción debido a la rápida obtención incluyendo su fácil elaboración. La falta de un marco legal que determine la aplicación de técnicas en la construcción, muchos países están intentando normalizar su uso para resolver esta falencia.

#### 3.1 Normativa internacional.

La información recopilada de diversas investigaciones sobre los reglamentos para la construcción con tierra, realizadas por diferentes autores, se ha resumido en la tabla 01. En esta tabla se lleva a cabo el análisis y la descripción de cada norma, detallando su país de origen, la referencia de la norma o reglamento, y el organismo emisor (ORG). Se ha seleccionado un conjunto de normativas y reglamentos internacionales sobre la construcción con tierra cruda. La tabla 01 incluye las normativas que cumplen con los requisitos necesarios para esta investigación, considerando la técnica y el ámbito de aplicación de cada una de ellas. Se ha elegido todas las normativas relacionadas con la elaboración de adobes conjuntamente con los bloques de tierra comprimida, teniendo en cuenta diferentes parámetros de las normas, como son: Reglamentos para la selección de suelos, la fabricación, la construcción y el diseño con tierra. Al realizar este documento, la investigación ha sido conducida a respetar la NORMA E.080 del Perú, puesto que, al no haber una guía técnica en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, la misma toma estas normativas como guía, con el objeto de tener una base técnica de desarrollo para los adobes. He considerado para el desarrollo de este trabajo de titulación la norma española UNE\_41410\_2008 y las normas estadounidenses ASTM E 2392 M10 - NMAC, 14.7.4.2004.

Tabla 1

Normas y Reglamentos en el mundo

PAÍS	NORMA	REF.	EST.	TÉCNICA	CAMPO DE APLICACIÓN	SELECCIÓN DE SUELOS	REQUISITOS DE PRODUCCIÓN	ENSAYOS	FABRICACIÓN	CONSTRUCCIÓN	DISEÑO
COLOMBIA	NTC 5324,2004	20	X	Bloques macizos de suelo-cementos para muros y divisiones	Caracterización y métodos de ensayo de los bloques macizos suelo-cemento	X	X	X			
EEUU	NMAC, 14.7.4, 2004	21		Adobe, Bloques de tierra comprimida y tapial	Reglamento de construcción	X	X	X		X	
4	ASTM E2392 M-10	22		Adobe, tapial	Guía para construcción de sistemas con tierra	X		X	X	X	
ESPAÑA	UNE 41410:2008	23		Bloques de tierra comprimida	Definiciones, especificaciones y método de ensayo	X	X	X			
FRANCIA	XP P13-901,2001	24		Bloques de tierra comprimida	Terminología, dimensiones y método de ensayo	X	X	X			
INDIA	IS 2110 : 1980	25	X	Pared in-situ de suelo-cemento	Especificaciones técnicas para paredes no mayores de 3,2 m de altura y anchura >300 mm muros de carga > 200 mm particiones	X	X				
	IS 1725 : 1982	26	X	Bloques de tierra comprimidos estabilizados	Requisitos y prueba para bloques de tierra de uso en construcción en general. Procedimientos de ensayos.	X	X	X			
	IS 13827 : 1993	27	x	Adobe y tapial	Directrices para la mejora de la resistencia sísmica de edificios de tierra		X			X	
KENYA	KS 02-1070:1,1999	30	X	Bloques de suelo estabilizado con cemento o cal	Requisitos para la construcción con este bloque	X	X	X			
NUEVA ZELANDIA	NZS 4297, 1998	32		Adobes, bloques comprimidos, tierra vertida, tapial	Diseño estructural y de durabilidad de las edificaciones de tierra					X	X
	NZS 4298, 1998	33			Caracterización de materiales y especificaciones de construcción para el uso de tierra cruda. Procedimientos de ensayo.	X	X	X	X	X	
	NZS 4299, 1999	34		Adobe, bloque comprimido, tapial	Requisitos de diseño y construcción para adobes, bloques comprimidos o tapial que no necesitan diseño específico.					X	X
PERÚ	NTE E 0.80, 2000	35		Adobes	Requisitos para la construcción de adobe simple y adobe estabilizado	X	X	X	X	X	X
11	NTP 331.201.1979	36	X	Adobe estabilizado con asfalto	Definiciones, condiciones generales y requisitos		X	X	X		
	NTP 331.202.1980	37	X		Procedimiento de ensayo	X					
	NTP 331.203.1981	38	X		Muestra y recepción		X				

Fuente: Extraída de la Tesis de Maestría, (Calderón Peñafiel, J. 2013) Arteaga Mauricio / Loja Alejandro

### **3.2 Normativa local.**

En Ecuador, de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2023), específicamente en el apartado de SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES: NEC-SE-VIVIENDAS: Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros parte 2, se dictaminan algunas pautas para la construcción de edificaciones con muros portantes de adobe. Sin embargo, las normas se fundamentan en el Código de Construcción con Adobe del Perú, Norma Técnica de Edificaciones NTE E.080 en la construcción con adobe. Es importante destacar que estas normas y directrices son implementadas con el objetivo de garantizar la seguridad y la calidad de las construcciones con muros de adobe en Ecuador, teniendo en cuenta las características específicas de este tipo de construcción.

### **3.3 GUÍA DE FABRICACIÓN DEL ADOBE ESTABILIZADO**

El adobe es un material de construcción compuesto principalmente por tierra sin cocer, se presenta en forma de bloques compactos de barro. Estos bloques se obtienen mezclando tierra arcillosa y arenosa, y en ocasiones se añaden fibras u otros elementos estabilizadores para reforzar su estructura. En este documento se ha añadido lodos residuales obtenidos en el proceso de potabilización del agua, y su proceso tanto como su dosificación será explicada posteriormente. En la actualidad, según numerosas investigaciones en el ámbito de la elaboración de adobe con el fin de mejorar y garantizar su resistencia, los mismos que sugieren proporciones ideales de arcilla, arena, fibra y agua para lograr mejoras significativas en el adobe. Para comprender a fondo el adobe como material constructivo y las distintas etapas de su elaboración, es fundamental examinar en detalle cada uno de sus procesos.

#### **3.3.1 Composición y dosificación.**

La relación proporcional entre arcilla y arena en el suelo son factores cruciales para la construcción de adobes porque si la mezcla carece de suficiente cantidad de arcilla, no se obtendrá la cohesión entre las partículas para garantizar su desempeño en su resistencia a la compresión como parte de la estructura, ocasionando su colapso. En cambio, si falta arena, el adobe se agrietará por la contracción de la arcilla durante el proceso de secado. La cantidad de arena, arcilla, fibra y agua dependerá en gran medida de las características del suelo, del tipo de estructura que se desea construir y de su tamaño. En la actualidad, se producen adobes con una composición más precisa. Por ejemplo, de acuerdo a la normativa técnica peruana para diseño y construcción con tierra reforzada en los requisitos generales manda que la

característica del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20 %, limo 15-25% y arena 55-70%, evitando la utilización de materia orgánica (NORMA E.80, 2017). Estos rangos pueden variar cuando se fabriquen adobes estabilizados. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara.

### **3.3.2 Extracción de la tierra**

La tierra utilizada para este propósito generalmente se obtiene de la misma área donde se construirá la vivienda, aprovechando la tierra excavada o cuando se genera el tratamiento del terreno para la edificación. El proceso implica dar forma al barro en moldes y luego dejar que se seque al sol. Los moldes tienen 25 cm de ancho, 15 cm de alto y 50 cm de largo. El adobe resultante, una vez seco, tiene un peso relativo de +/- 20 kg.

Antes de comenzar a fabricar los bloques, es necesario preparar el área para el secado. Se debe acondicionar un espacio en el suelo que esté nivelado y compactado, y luego esparcir arena fina sobre él. Los bloques se colocarán en este espacio para que se sequen. En áreas con climas extremos, puede ser necesario cubrir los bloques durante la noche para protegerlos de las heladas y durante el día para protegerlos del sol y evitar que se agrieten.

Es importante destacar que el proceso de elaboración del adobe tradicional se realizó en la ciudad de Cuenca, en adoberas no industrializadas. Estas adoberas se basan en la experiencia de sus dueños, quienes han perfeccionado la forma de elaborar adobes a lo largo de generaciones. Desde la selección de la materia prima hasta la obtención del adobe final, han logrado producir uno de los mejores adobes en Ecuador. Una forma efectiva de seleccionar un lugar adecuado para extraer la tierra y mezclarla es observar su coloración. La experiencia de los fabricantes de adobes indica que la tierra de color oscuro no es conveniente, ya que contiene poca arcilla y altas cantidades de materia orgánica, lo que sugiere que no ha sido suficientemente erosionada. Por otro lado, la tierra de color claro es preferible para la elaboración del adobe.

### **3.3.3 Hidratación de la tierra.**

Una vez que se ha removido y amontonado el suelo en el área de procesamiento, se añade la cantidad correcta de agua para obtener una mezcla húmeda con el volumen seco, lo cual crea una sustancia similar al barro. Esta sustancia se deja secar al sol durante aproximadamente un día para eliminar el exceso de agua y alcanzar la consistencia adecuada.

#### **3.3.4 Mezclado del barro.**

En una tesis, se ha sugerido que la tierra debe ser mezclada con una cantidad adecuada de agua para lograr una mezcla homogénea. Esta mezcla puede llevarse a cabo preferiblemente en un hoyo en la tierra. Sin embargo, debido a que mezclar el barro es una tarea ardua, también se puede utilizar la fuerza animal para llevar a cabo este proceso. Durante esta etapa, es esencial mezclar todas las partículas presentes, tanto las arcillas como las arenas. En algunos casos, se puede agregar paja u otro tipo de estabilizante para mejorar las propiedades de la mezcla.

#### **3.3.5 Moldeado.**

Este procedimiento consiste en colocar el material preparado en un molde ubicado en el suelo y compactar la mezcla completamente a mano. Después de un máximo de 5 a 10 minutos, se retira el molde y la superficie donde se moldeó y vertió debe estar limpia, nivelada y sin impurezas.

#### **3.3.6 Vaciado.**

Una vez que se ha colocado la mezcla del material en el suelo, se debe proceder con cuidado a retirar cada una de las piezas del molde, evitando dañar las esquinas u otras superficies. Aunque se podría solucionar este problema con barro, es fundamental que las piezas de adobe salgan en buenas condiciones para obtener la resistencia necesaria. Una recomendación del fabricante es lavar o humedecer los moldes después de cada extracción.

#### **3.3.7 Pre-secado.**

Este proceso es muy crucial, ya que aquí puede darse una deformación considerable si los adobes no son rotados regularmente. El tiempo en que las piezas de adobe están dentro de ésta etapa dependerá del clima, pero dura aproximadamente de 5 a 10 días o lo suficiente como para poder pararlas en canto (lado). Durante este proceso, no se debe manipular fuertemente ni cambiar de lugar ninguna de las piezas, ya que aún se encuentran en estado semisólido.

#### **3.3.8 Perfilado del adobe**

El adobe se seca sobre el terreno en el cual se a colocado una capa de lodo seco y paja, para que no adhiere al suelo, esto origina una cara sumamente irregular el adobe, el cual debe ser perfilado para obtener una cara regular y mediante un machete se quita el exceso de material.

### **3.3.9 Secado.**

Una vez completado el pre-secado, las piezas pueden dejarse secar al sol durante aproximadamente 30 días, se debe tomar en cuenta que los adobes al ser elaborados de tierra cruda son muy susceptibles a la temperatura y humedad de su entorno, de esta manera el tiempo para secado óptimo dependerá de la época del año. El lugar donde se realiza el proceso debe estar protegido evitando el contacto con el agua de lluvia. Cada pieza debe ser volteada (tanto en posición horizontal como vertical) para asegurar un secado completo y evitar deformaciones.

### **3.3.10 Apilado.**

Después de secar los adobes durante tres o cuatro semanas desde su elaboración, las piezas se pueden apilar. Si se dispone de un espacio amplio, no es necesario apilarlas, simplemente se colocan una tras otra de manera ordenada para garantizar su resistencia. Después de permitir que las piezas se sequen durante una o dos semanas después de su fabricación, es posible colocarlas una encima de la otra en forma de pilas. Si hay suficiente espacio disponible, no es necesario apilarlas, simplemente se pueden colocar una detrás de la otra de manera ordenada para asegurar su durabilidad

## **3.4 Resistencia mecánica a la compresión del Adobe**

La determinación de la resistencia a la compresión de la unidad se obtendrá mediante la realización de pruebas aplicadas a una parte de unidad del adobe. El valor del esfuerzo resistente en compresión se calculará en función del área de la sección transversal, siendo necesario realizar pruebas en un mínimo de 3 muestras, estableciendo la resistencia última ( $f_o$ ) como el valor que supere en el 80% de las piezas ensayadas. Las pruebas se llevarán a cabo utilizando piezas completamente secas y el valor mínimo aceptable será:  $f_o = 12 \text{ kg/cm}^2$  (NORMA E-80, 2017).

## **3.5 Ventajas y desventajas de la construcción con adobe**

La construcción con adobe es una técnica milenaria que ha sido utilizada en diversas culturas a lo largo de la historia debido a su disponibilidad local, su capacidad para proporcionar ambientes confortables y su bajo impacto ambiental. En la actualidad, esta técnica ha despertado un renovado interés en el campo de la arquitectura sostenible, ya que su uso puede contribuir a la reducción de la huella de carbono y al fomento de prácticas constructivas respetuosas con el entorno. Sin embargo, a pesar de sus numerosas ventajas, la construcción con adobe también plantea desafíos significativos en términos de resistencia

estructural, durabilidad y vulnerabilidad a ciertos factores ambientales. La presente tesis tiene como objetivo analizar detalladamente las ventajas y desventajas asociadas con el uso del adobe en la construcción, con el propósito de proporcionar una visión integral de esta antigua técnica constructiva y su relevancia en el contexto contemporáneo. Se abordarán aspectos clave como la disponibilidad de materiales, la eficiencia energética, el confort térmico, la resistencia sísmica, la durabilidad, así como los desafíos asociados con la gestión de la humedad, el control de plagas y la necesidad de mantenimiento constante. En el análisis de las ventajas, se recalcan las propiedades térmicas y acústicas del adobe, destacando su capacidad para moderar las variaciones de temperatura y proporcionar ambientes interiores confortables en diferentes climas. El adobe es constructivamente positivo, al ser un material renovable ya que es completamente natural, en comparación con materiales más convencionales. Además, se considerará su potencial para promover la participación comunitaria y la preservación de técnicas constructivas tradicionales, lo que fomenta la identidad cultural y el desarrollo sostenible. Por otro lado, se analizarán las desventajas relacionadas con la vulnerabilidad del adobe a la humedad, la necesidad de protección frente a la erosión y la fragilidad estructural en comparación con materiales más modernos. Se examinarán también los retos asociados con la estabilización del adobe, la prevención de grietas y el control de plagas, así como las implicaciones en términos de mantenimiento y costos a largo plazo. A través de este análisis exhaustivo, se pretende ofrecer una comprensión detallada de las ventajas y desventajas del adobe en la construcción, con el fin de informar y enriquecer el debate en torno a esta técnica constructiva y su viabilidad en el contexto actual de la arquitectura sostenible.

### **3.5.1 Ventajas de usar adobe como material constructivo.**

- **Materia prima abundante:** El material necesario para elaborar adobe es fácilmente accesible, ya que se obtiene directamente de la tierra excavada durante la cimentación o movimiento de tierra realizado para la construcción.
- **Aminoración energética:** Debido a que no requiere procesos industrializados, el adobe se considera como los materiales más ecológicos para la construcción, ya que su carga energética es prácticamente nula, lo que resulta en una reducción significativa de la contaminación ambiental, en comparación con otros materiales de construcción actuales.
- **Aislante acústico y térmico:** Gracias a su ambivalencia térmica, el adobe contribuye a regular las temperaturas ambientales, lo que a su vez reduce la necesidad de energía

para aclimatar o refrigerar los espacios. Además, sus gruesos muros actúan como aislantes acústicos, garantizando un ambiente confortable.

- Proceso de construcción con adobe: No requiere mano de obra altamente especializada, ya que se trata de un sistema de construcción tradicional que no involucra procedimientos complicados.

### **3.5.2 Desventajas de construir con adobe.**

- Construcción en altura: El manejo de este material es complicado debido a su peso que requiere mayor número de personas para su colocación en la altura, lo que representa una desventaja para trabajar en estructuras de gran altura. imagen
- Vulnerabilidad a la humedad: La principal desventaja de este material radica en su sensibilidad a la humedad ya que tiene una alta capacidad de absorción de humedad del suelo debido a sus condiciones físicas, lo que afecta directamente a su aporte de resistencia a la estructura.
- Resistencia sísmica: Las construcciones de adobe son consideradas vulnerables a los movimientos telúricos o sísmicos debido a su peso y altura.
- Destrucción al medio ambiente: El adobe utiliza paja en su elaboración, elemento que mantiene el agua en el terreno y por consiguiente la extracción exagerada de esta vegetación provoca una irreparable pérdida de este colchón vegetal dejando desprotegido el suelo.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. EXPERIMENTACIÓN**

En esta investigación, se busca mejorar las características de resistencia a la compresión del adobe tradicional elaborado con arena, arcilla, limo, agua y paja. Además, se pretende incorporar en la elaboración de los adobes materia de estudio, los lodos aluminosos residuales de la (PTAP) como un tipo diferente de estabilizante, con el objetivo de lograr una mejora en la calidad de la mezcla. El estabilizante será añadido a la mezcla de barro en proporciones del (3%, 5%, 7,5%, 10% y 50%), tratando de respetar la NORMA E.80 peruana que nos da las proporciones exactas para la elaboración del adobe, es por esto que se ha elegido experimentar con porcentajes bajos que garantizarán estabilidad en su contextura, luego serán sometidos a ensayos de laboratorio para medir su resistencia a la compresión. El cálculo para la dosificación de los lodos estará relacionado con el volumen de materia prima (tierra cruda) húmeda, utilizada en la elaboración de un adobe natural, que corresponde a un paralelepípedo.

#### **4.1 ELABORACIÓN DE ADOBES DE ESTUDIO**

La NORMA E.80 peruana recomienda realizar la prueba como mínimo a 6 cubos cuya arista sea igual a la menor dimensión de un adobe (15cm) es por esto que se elaboraron 4 adobes tradicionales que representan 12 cubos para ser ensayados. También se ensayaron 15 (3 por cada porcentaje, que representan 9 cubos por cada adición) adobes estabilizados con lodos aluminosos residuales provenientes de la PTAP de Tixán, base de esta tesis. Las pruebas mecánicas a la compresión se realizaron a un total de 19 probetas, que representan el 79.17% de un total de 24 probetas elaboradas. Ya que uno de los objetivos planteados de esta tesis fue realizar las pruebas al menos al 60% de adobes producidos. A continuación, se explica los pasos seguidos para la obtención de las diferentes probetas de prueba.

##### **4.1.1 Recolección de lodos residuales.**

El día 8 de noviembre del presente año los lodos aluminosos los de la planta de PTAP del sector de Tixán se obtuvieron directamente de la tolva de almacenamiento (imagen 28, imagen 29) antes de su recolección por parte de la Empresa Pública de Aseo y Saneamiento de Cuenca (EMAC EP). Dichos lodos regularmente se almacenan por 1 semana esperando su disposición para el relleno sanitario de Pichacay. También, es preciso recalcar que, al momento de realizar esta tesis de arquitectura, se pudo constatar que los lodos residuales, a pesar que se dan tratamiento para eliminar la mayor cantidad de contenido de humedad, los

lodos siguen teniendo una excesiva humedad; es por esto que la tolva de la PTAP debería ser refaccionada para solventar las falencias de diseño.



**Imagen 28:** Recolección de lodos aluminosos

**Fuente:** El Autor



**Imagen 29:** Tolva de lodos aluminosos

**Fuente:** El Autor

#### 4.1.2 Dosificación de los lodos residuales.

Se partió obteniendo el volumen de materia prima para 1 adobe artesanal de medidas: 50cm de longitud, 25cm de ancho y 15cm de alto que dio como resultado **18 750 cm<sup>3</sup>** (Tabla 2).

Tabla 2

Cálculo volumétrico para el adobe

CÁLCULO VOLUMÉTRICO PARA EL ADOBE				
PROBETA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	VOLUMEN(cm <sup>3</sup> )
<b>ADOBE</b>				<b>V=abc</b>
P0	50	25	15	18750

*Nota.* Fuente: Diego Álvarez

A continuación, se obtuvo el volumen del contenedor (imagen 30) la misma que corresponde a un cono truncado cuya fórmula de volumen es:

$$V = \frac{h\pi}{3} (R_1^2 + R_2^2 + R_1R_2)$$




**Imagen 30:** Contenedor de medida

**Fuente:** El Autor

Aplicando la fórmula se obteniendo el resultado del volumen neto para el contenedor de: **738.276 cm<sup>3</sup>** (Tabla 3)

Tabla 3

Cálculo volumétrico de contenedor

CÁLCULO VOLUMÉTRICO DE CONTENEDOR					8/11/2023
					
CONTENEDOR	h (cm)	R 1(cm)	R2 (cm)	Pi (cm)	VOLUMEN (cm3)
<b>TARRINA</b>					$V = \frac{h\pi}{3} (R_1^2 + R_2^2 + R_1R_2)$
CONO TRUNCADO	10	5.5	4.5	3.1416	<b>738.276</b>

*Nota.* Fuente: Diego Álvarez

Se correlacionó el volumen del cono truncado (usado para medir el material estabilizante) con el volumen de material usado para la elaboración de 1 adobe. Obteniendo así el volumen de los lodos aluminosos a ser añadidos. Al poseer las cantidades exactas de lodos aluminosos

a ser añadidos, se procedió a calcular el porcentaje de los mismos en el contenedor (cantidad de espacio que ocupan en la tarrina) (Tabla 4), los resultados se detallan de la siguiente manera:

El adobe estabilizado al 3% le corresponde 562.5cm<sup>3</sup> de lodos aluminosos, que representan el 0.76% del contenido de la tarrina (contenedor).

El adobe estabilizado al 5% le corresponde 937.5cm<sup>3</sup> de lodos aluminosos que, representan el 1.27% del contenido de la tarrina (contenedor).

El adobe estabilizado al 7.5% le corresponde 1406.25cm<sup>3</sup> de lodos aluminosos que, representan el 1.904% del contenido de la tarrina (contenedor).

El adobe estabilizado al 10% le corresponde 1875.00 cm<sup>3</sup> de lodos aluminosos que, representan el 2.539% del contenido de la tarrina (contenedor).

La adición del 50% se la realizó en el sitio de la elaboración de los adobes mediante 4 paladas de materia prima (tierra cruda) para adobe y 4 paladas de lodos aluminosos residuales.

Tabla 4

#### Diseño de Adición de Lodos Residuales

DISEÑO DE ADICIÓN DE LODOS RESIDUALES					8/11/2023
PROBETA	Vol. Neto cm <sup>3</sup>	Tierra Cruda cm <sup>3</sup>	Vol. Contenedor cm <sup>3</sup>	Lodo Aluminoso cm <sup>3</sup>	Lodo en tarrina %
				(Vol. Neto)(%de adición) 100	Lodo Aluminos x 100 Vol.de Contenedor
<b>ADOBE TRADICIONAL</b>					
P0	18750			—	—
P1	18750			—	—
P2	18750			—	—
P3	18750			—	—
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 3%</b>					
P4	18750	18187.5	738.276	562.5	76
P5	18750	18187.5	738.276	562.5	76
P6	18750	18187.5	738.276	562.5	76
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 5%</b>					
P7	18750	17812.5	738.276	937.5	127
P8	18750	17812.5	738.276	937.5	127
P9	18750	17812.5	738.276	937.5	127
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 7.5%</b>					
P10	18750	17343.7	738.276	1406.3	190.4
P11	18750	17343.7	738.276	1406.3	190.4
P12	18750	17343.7	738.276	1406.3	190.4
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 10%</b>					
P13	18750	16875	738.276	1875	253.9
P14	18750	16875	738.276	1875	253.9
P15	18750	16875	738.276	1875	253.9
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 50%</b>					
P16	18750	9375	—	9375	—
P17	18750	9375	—	9375	—
P18	18750	9375	—	9375	—

La adición del 50% se la realizó en el sitio de la elaboración de los adobes mediante 4 paladas de tierra para adobe y 4 paladas de lodo residual.

Nota. Fuente: Diego Álvarez

#### 4.1.3 MATERIA PRIMA (TIERRA) PARA ADOBES

Este trabajo de titulación no está enfocado en el análisis de la elaboración y análisis de sus materiales constitutivos; empero, es necesario conocer cómo se obtuvo la materia prima a utilizarse, antes de la elaboración de los adobes estabilizados con los lodos aluminosos



**Imagen 31:** Materia prima para adobe tradicional.

**Fuente:** El Autor

provenientes de la PTAP.

La tierra usada regularmente para la elaboración de los adobes tradicionales presentó una coloración clara (imagen 31), que fue aceptada por el Sr. Germán Contreras (maestro adobero), lo que indica que es un material óptimo y adecuado, corroborado por los resultados de laboratorio. La propiedad de la tierra es importante, ya que refleja el porcentaje de limo y arcilla esenciales para mejorar en gran medida las propiedades de resistencia de los adobes.

#### 4.1.4 MEZCLA DE LA MATERIA PRIMA PARA ADOBE TRADICIONAL

Fue realizada de forma artesanal (imagen 32), para obtener una mezcla homogénea se utilizó fuerza equina por el período de 4 horas, en la cual a una velocidad constante se obtuvo una mezcla homogénea, de buena coloración y estable que se dejó reposar por 24 horas, constituyéndose como la materia prima adecuada para la elaboración de los adobes. Es



**Imagen 32:** Mezcla de materia prima para adobe tradicional.

**Fuente:** El Autor.

preciso detallar que la adición de guano, sería indispensable para incrementar la resistencia de los adobes. Inmediatamente después de mezclada las materias primas se procedió a la adición de los porcentajes de lodo de la PTAP, como aglomerante.

#### 4.1.5 Adición de lodos aluminosos.

Los adobes estabilizados se han fabricado utilizando la mezcla de tierra cruda que se utiliza para la elaboración de un adobe tradicional, luego se procedió a añadir lodo aluminoso residual de PTAP (imagen 33), culminando con la adición de paja en aproximadamente un 3% y agua (imagen 34). La mezcla fue batida aproximadamente por +/- 12 minutos hasta que se torne maleable y compacta (Imagen 35) para luego proceder a la etapa de elaboración establecidas en las normas ancestrales de fabricación de un adobe natural. El vaciado del material junto con la etapa de compresión manual en el molde de cada adobe tomo alrededor de 15 minutos para su colocación y disposición final en el lugar de secado en la adobera bajo sombra, puesto que si se diera al sol aceleraría de forma perjudicial al resultado de un adobe óptimo para utilizarlo como material de construcción y pudiendo no llegar a la resistencia según la Norma-E80 de 12kg/cm<sup>2</sup>. Un adobe para su manejo y transporte (según detalles y recomendaciones de los diferentes estudios) toma 28 días aproximadamente, pero para su uso en la construcción un adobe debería al menos ser usado a los 3 meses de su elaboración en la fabricación de un muro auto portante.



**Imagen 33:** Adición de lodos aluminosos.

**Fuente:** El Autor.



**Imagen 34:** Adición de paja y agua a la mezcla.

**Fuente:** El Autor.



**Imagen 35:** Mezcla de materia prima para adobes estabilizados.

**Fuente:** El Autor.

#### 4.1.6 MOLDEADO

Las dimensiones del molde utilizado son 50x25x15cm. Sin embargo, debido a la contracción



en el secado, las piezas finales se reducen aproximadamente 2cm – 3cm. Siguiendo las recomendaciones de elaboración, cada molde fue humedecido y lavado para garantizar una mejor extracción del adobe sin dañar sus lados (Imagen 36). Luego el molde se coloca en una superficie plana y limpia de impurezas listo para el siguiente paso.

**Imagen 36:** Humedecimiento de molde.

**Fuente:** El Autor.

#### 4.1.7 VACIADO

En el molde se procedió a verter la mitad de la mezcla necesaria, compactándola con los



puños, añadiendo paja en el medio (imagen 37); luego, se procede a verter el otro 50% de materia prima compactándola de la misma forma (con los puños), concluyendo con la adición de paja tejida de forma perpendicular entre sí, en la cara superior (imagen 38). Al transcurrir aproximadamente 5 minutos, se procedió al desmoldar. Cabe recalcar que, en este proceso, el lavado del

**Imagen 37:** Vaciado 50%.

**Fuente:** El Autor.

molde se realizó cada vez para la elaboración de 1 adobe. Es crucial que la pieza de adobe se desmolde dejando en buenas condiciones sus lados para no comprometer su resistencia.



**Imagen 38:** Vaciado 100%

**Fuente:** El Autor.

#### 4.1.8 PRE-SECADO

Esta etapa de los adobes dura 8 días (imagen 39). Durante este proceso, se producen los primeros cambios de contracción en los adobes, es por esto que ninguna de las piezas debería ser manipuladas ni cambiadas de lugar, ya que aún se encuentran en estado semisólido.



**Imagen 39:** Pre-secado

**Fuente:** El Autor.

#### 4.1.9 SECADO

El secado de los adobes se realizó durante 4 semanas en un lugar cubierto (imagen 40). Cada uno de los bloques fue volteado en sus diferentes caras (tabla y canto) para asegurar un secado completo. Durante esta etapa, según los días de secado y de acuerdo a cada dosificación (3%...50%), los adobes presentaron diferentes tonalidades en comparación a los



**Imagen 40:** Secado de Adobe.

**Fuente:** El Autor.

adobes tradicionales sin lodo aluminoso. Es así que, los adobes al 3% y 5% no presentaron mucha diferencia en coloración, ya que se agregaron en cantidades menores en comparación con las anteriores. La dosificación del 10% de lodos residuales mostró la coloración más oscura, seguida del 7.5%. La dosificación del 50% no presentó mayor cambio en comparación de los adobes con el 7.5% de

adición, pero siendo mucho más oscuras que los adobes tradicionales. El tiempo de espera y en consideración del clima seco se recolectaron las muestras en 30 días, para realizar los ensayos de laboratorio.

#### **4.1.10 APILADO**

En este proceso los adobes pueden ser almacenados por mucho tiempo, siempre y cuando no tengan contacto con agua. Los adobes de prueba no llegaron a apilarse puesto que fueron recolectados directamente del proceso de secado para ser llevados al laboratorio para las respectivas pruebas.

#### **4.1.11 MANEJO, TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN DE LOS ADOBES ESTABILIZADOS**

Para el manejo y recolección de los adobes se esperaron 30 días (imagen 41), los cuales permitieron su correcta transportación (imagen 42) hacia el laboratorio para realizar las evaluaciones respectivas. Se pudo constatar por observación que los adobes elaborados mantenían todavía mucha humedad sin que esta razón disminuya e influya en su forma, comprobando que los adobes pueden ser manejados en los días mencionados, después de su elaboración.



**Imagen 41:** Adobes secados por 30 días

**Fuente:** El Autor.



**Imagen 42:** Transporte de adobes

**Fuente:** El Autor.

## 5. PRUEBAS DE LABORATORIO

Se realizaron en las instalaciones del laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Cuenca, localizado en el Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) de la Universidad Católica de Cuenca (imagen 43), iniciando el mismo día de su



**Imagen 44:** CIITT

**Fuente:** El Autor.

disposición, con fecha 7 de diciembre de 2023 (imagen 44). Se obtuvieron los resultados de los primeros 2 adobes tradicionales sin estabilizante para medir su resistencia mecánica a la compresión, que son necesarios para cumplir los objetivos de esta tesis. Sin embargo, los resultados de los ensayos a la compresión fueron muy bajos, obteniendo una media de  $3.53 \text{ Kg/cm}^2$  (Tabla 7), que no se acercaban a la resistencia mínima a la compresión para un adobe natural de  $12 \text{ kg/cm}^2$  (NORMA E.80 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON TIERRA REFORZADA, 2017). La evaluación final de los adobes tradicionales y estabilizados con los lodos de la PTAP se realizaron a los 59 días, obteniendo resultados sumamente diferentes y óptimos para llegar a una conclusión más técnica de la tesis y presentar resultados que se acerquen más a la



**Imagen 43:** Adobes en Laboratorio

**Fuente:** El Autor.

realidad. Las pruebas a los adobes elaborados serán exclusivamente de su resistencia mecánica a la compresión y a la humedad.

### 5.1 Equipos de laboratorio

Para la realización de los diferentes ensayos de laboratorio se usaron equipos que pertenecen a la Universidad Católica de Cuenca, localizados en el laboratorio de suelos de la institución. Para las pruebas de humedad se utilizaron 2 equipos: 1 balanza y 1 horno; para los ensayos de resistencia mecánica a la compresión se utilizaron 2 equipos: 1 balanza y 1 prensa. A continuación, el detalle de los equipos:

#### 5.1.1 BALANZA ELECTRÓNICA UWE SEK-30K



**Imagen 45:** Balanza electrónica UWE SEK-30K

**Fuente:** El Autor.

- Capacidad: 30Kg.
- Operación fácil de usar con teclado numérico completo y pantalla fácil de leer
- Torre de iluminación HI-LO-GO de 3 colores incluida con escala
- Las unidades de medida incluyen lb, lb: oz, kg
- Divisiones mostradas 1/60.000, 1/30.000 o 1/15.000 (configurable)
- Resolución de conteo interno de 1.000.000
- Interfaz RS-232
- Pies antideslizantes ajustables y nivel de burbuja.
- Adaptador de CA incluido
- Batería recargable opcional (NO INCLUIDA, Nota: la parte de la torre de iluminación no puede funcionar con batería)
- Indicador de batería baja
- Ahorro de energía automático
- Tara a escala completa por resta
- Carcasa de ABS rematada con una bandeja de acero inoxidable.
- Perfil bajo para espacio reducido en el mostrador y fácil almacenamiento.

- Seguimiento cero
- La función de ahorro de memoria proporciona una rápida recuperación de muestras de productos individuales.
- Función de calibración automática
- La alarma de sobrepeso/recuento garantiza menos errores

### 5.1.2 HORNO ELÉCTRICO DIGITAL PINZUAR



**Imagen 46:** Horno eléctrico digital pinzuar

**Fuente:** PINZUAR. S/F. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/nizJYVqaPVhBrkRn9>

Un horno eléctrico creado para asegurar que la temperatura requerida en los experimentos de laboratorio sea precisa y uniforme mediante el uso de convección forzada y un sistema de control PID resistente. Esto permite lograr calentamientos y recuperaciones de la temperatura programada en tiempos breves, lo que ahorra energía. Además, tiene una pantalla táctil con diversas funciones programables e informativas.

- Modelo: PG-2004
- Serie: 107
- Unidades de medición: Sistema internacional de unidades (SI)
- Rango de temperatura: Ambiente + 5 °C a 200 °C (Opcional: otros rangos sobre pedido)
- Resolución: 0,01 °C
- Homogeneidad:  $\leq 3$  °C
- Estabilidad: 1°C
- Funcionamiento eléctrico: 220 VAC opcional 110 VAC)
- Medido de calentamiento: Resistencia eléctrica

- Acabado superficial: Pintura electrostática
- Tipo de sensor temperatura: PT 100

### 5.1.3 MÁQUINA DE PRUEBA DE COMPRESIÓN SHIMADZU CORPORATION



**Imagen 47:** Máquina de prueba de compresión shimadzu corp.

**Fuente:** SHIMADZU. S/F. [imagen]. <https://images.app.goo.gl/j9TmH7ddF28Skj4WA>

Esta máquina de pruebas de compresión puede realizar pruebas de manera segura y eficiente a alta capacidad sin causar fractura explosiva (falla de la muestra) en concreto de ultra alta resistencia, que se utiliza como material estructural en edificios de gran altura, etc. Una máquina se puede utilizar para materiales que van desde hormigón de ultra alta resistencia hasta probetas recientemente coladas, mortero, etc.

- Serie: CONCRETO 2000x
- Capacidad de prueba: 40 a 2000 kN en rango de 6 etapas
- Método de control: Tipo servo hidráulico (con función a prueba de explosiones)
- Diámetro de la placa superior e inferior: 220 milímetros
- Condiciones de trabajo:
  - Voltaje: +/-10%
  - Calentamiento: 15min
  - Temperatura: 5°C - 40°C

## 5.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Todos los adobes fueron medidos (imagen 49) y pesados utilizando la balanza electrónica



**Imagen 49:** Probetas para prueba

**Fuente:** El Autor.

UWE SEK-30K, para determinar sus características físicas (imágenes 48 y 50). Esta etapa de la tesis se realizó en 2 fases. La primera desarrollada el 7 de diciembre de 2023 a los 30 días de elaboración de los adobes (Tabla 5) y; una segunda desarrollada el 5 de enero de 2024 a los 59 días de elaboración de los adobes (Tabla 6). Puesto que resultados bajos a la resistencia mecánica a la compresión de la 1era fase, originó un giro inesperado en esta tesis y se distanciaron la una de la otra por 1 mes. En la 1era Fase se obtuvieron las medidas y pesos de 8 probetas (P1, P2, P3, P4, P7, P10, P13 y P16). Pasados aproximadamente 30 días, dio inicio la segunda fase; en la cual se aplicó el mismo procedimiento de preparación que la



**Imagen 48:** Peso P16

**Fuente:** El Autor



**Imagen 50:** Peso P1

**Fuente:** El Autor.

anterior fase obteniendo los resultados de 17 probetas desde la P0 hasta la P18, exceptuando la P1 y P2, puesto que estas fueron ensayadas a su resistencia mecánica a la compresión y fueron destruidas.

Tabla 5

Características físicas de los adobes 1era Fase a los 30 días de secado.

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ADOBES</b>				
<b>Primera Fase 7/DIC/2023</b>				
<b>PROBETA</b>	<b>PESO (g)</b>	<b>LARGO (cm)</b>	<b>ANCHO (cm)</b>	<b>ALTO (cm)</b>
<b>ADOBE NATURAL</b>				
P0	-			
P1	24939.50	48.13	23.70	12.70
P2	26234.60	48.00	23.70	12.60
P3	25376.80	46.40	24.90	12.40
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 3%</b>				
P4	26632.00	46.80	24.00	13.50
P5	-	46.30	23.70	12.50
P6	-	46.40	24.20	12.80
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 5%</b>				
P7	24950.00	46.90	23.90	12.70
P8	-	46.80	24.20	13.00
P9	-	46.70	24.30	13.50
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 7.5%</b>				
P10	22995.50	47.00	24.90	12.50
P11	-	48.00	24.10	13.00
P12	-	47.10	24.20	12.30
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 10%</b>				
P13	22868.50	47.50	24.20	12.40
P14	-	46.80	24.20	12.70
P15	-	47.40	24.40	12.30
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 50%</b>				
P16	23824.50	47.60	23.70	12.70
P17	-	47.90	24.50	12.30
P18	-	47.40	24.20	12.60

*Nota. Fuente: Diego Álvarez*

Tabla 6

Características físicas de los adobes 2da Fase a los 59 días de secado.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ADOBES				
SEGUNDA FASE 05/ENE/2024				
PROBETA	PESO (g)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)
<b>ADOBE NATURAL</b>				
P0	23781	46.5	23	12.3
P1	-			
P2	-			
P3	22185	46	22.8	11.4
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 3%</b>				
P4	23554	46	23	13
P5	23429	45.8	22.8	12.4
P6	23787	45.5	23	12.6
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 5%</b>				
P7	22205	46.4	23.2	12.5
P8	23241	46.3	22.9	13
P9	23823	46	22.8	13.2
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 7.5%</b>				
P10	19510	46.3	22.8	12
P11	21346	47	22.7	12.8
P12	22530	46.5	22.9	12.3
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 10%</b>				
P13	19583	47	23.4	12
P14	21541	46.4	23	12.3
P15	20660	46.7	23	12
<b>ADOBE ESTABILIZADO AL 12.5%</b>				
P16	19986	46.2	22.7	12
P17	17880	46.8	22.8	11.5
P18	17898	46.1	23.3	12.4

**Nota. Fuente: Diego Álvarez**

### 5.3 Prueba de humedad

La opción más acertada fue realizar pruebas de humedad, que en primera instancia no estuvieron contempladas en el desarrollo de esta tesis. Sin embargo, ésta decisión es necesaria para conducir a resultados más claros de la tesis, resultados que se correlacionarán para obtener la concordancia entre la humedad y la resistencia mecánica de los adobes a la compresión. La fórmula que se usó para obtener la humedad es:

$$\frac{(W_h+T)-(W_s+T)}{((W_s+T)-T)} \times 100$$

**Wh:** Peso húmedo - **Ws:** Peso seco - **T:** Contenedor

La prueba de humedad consistió en deshidratar las muestras tomadas de los adobes por un período superior a 24 horas con el horno eléctrico digital Pinzuar. Como primer paso se pesó los contenedores para conocer su valor, luego; pesé las muestras húmedas de prueba que se depositaron en los contenedores e inmediatamente se llevaron dentro del horno. Luego de más de 24 horas se retiraron las muestras que fueron pesadas para obtener su peso seco, a continuación, se explica los valores obtenidos:

Para la primera fase con 30 días de secado, las pruebas de humedad se realizaron a las probetas P1 y P2 (adobes tradicionales sin estabilizante) y se obtuvieron los siguientes resultados: peso húmedo ( $W_h$ ) + contenedor (T) resultando 327.00g para la probeta 1 (imagen 51) y 364.5g para la probeta 2 (imagen 52). Las muestras fueron deshidratadas en el horno por 24 horas (imagen 53) para ser pesadas nuevamente y determinar sus valores sin humedad, obteniendo para la Probeta 1 un peso seco + contenedor ( $W_s+T$ ) de 247.5g y 279.5g para la Probeta 2 (Tabla 7).



**Imagen 53:** Peso de muestra húmeda + Contenedor P1

**Fuente:** El Autor



**Imagen 51:** Peso húmedo + Contenedor P2

**Fuente:** El Autor



**Imagen 52:** Secado de muestras

**Fuente:** El autor

Para la segunda fase a los 59 días de secado las pruebas de humedad se realizaron a las probetas P0 y P3 (adobes tradicionales) para determinar la humedad. Obteniendo los pesos húmedos ( $W_h$ ) + contenedor (T) de 193.59g para la probeta 0 (imagen: 55) y 163.5g para la



**Imagen 55:** Peso de muestra húmeda + Contenedor P0

**Fuente:** El Autor

probeta 3 (imagen: 54). Las muestras fueron deshidratadas en el horno por 24 horas, para ser pesadas nuevamente y determinar sus valores sin humedad, obteniendo para la Probeta 1 un peso seco + contenedor ( $W_s+T$ ) de 181.00g y 154.00g para la Probeta 3 (Tabla 7).



**Imagen 54:** Peso de muestra húmeda + Contenedor P3

**Fuente:** El autor

#### 5.4

#### 5.5 RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN

En una primera fase, los ensayos de resistencia mecánica a la compresión de los adobes naturales sin adición de estabilizante (probetas P1 y P2) se dieron sin ningún problema (imágenes: 56 y 57), obteniendo un descenso en la curva de esfuerzo, con pedazos sueltos no homogéneos de consistencia semidura y no muy compacta (imagen: 58) como remanentes. Sin embargo, demostraron que su resistencia estaba muy lejos a la normativa establecida para un adobe tradicional de mínimo  $12\text{kg/cm}^2$  de resistencia mecánica a la compresión (esfuerzo) (NORMA E.80, 2017) (Tabla 8), por lo que se optó esperar 1 mes más para permitir que los adobes desarrollen mayor deshidratación. Los valores obtenidos en los adobes naturales antes mencionados, no permitirían obtener un resultado óptimo para demostrar su validez constructiva, razón más que suficiente para considerar que el resto de probetas presentarían características similares en su resistencia mecánica a la compresión.

Con el fin de obtener una resistencia mayor que permita llegar a un resultado que se acerque a los parámetros reales de uso de 1 adobe como material constructivo, se hizo una pausa de un mes para proseguir con el desarrollo los ensayos.



**Imagen 57:** Rotura

Probeta 1

**Fuente:** El Autor



**Imagen 56:** Rotura

Probeta 2

**Fuente:** El Autor



**Imagen 58:** Escombros  
resultado de la rotura de  
probetas 1 y 2

**Fuente:** El autor

La segunda fase de los ensayos de resistencia mecánica a la compresión arrancó a los 59 días de la elaboración de los adobes para todas las probetas, y; éstas presentaron características más compactas y menos peso, y con condiciones óptimas para el desarrollo de los ensayos. Se practicaron los ensayos a las 17 probetas restantes desde la P0 hasta la P18, exceptuando la P1 y P2 ensayadas en la 1era Fase. Se pudo comprobar que su resistencia aumentó con resultados muy elevados a  $12 \text{ Kg/cm}^2$  (tabla 8), pero teniendo resultados atípicos en las probetas P4, P10, P16, P17 y P18 (marcadas con gris en la tabla 8), las cuales no presentaron descenso en la curva de esfuerzo originando la incapacidad de obtener un esfuerzo máximo que permita obtener una media de resistencia mecánica a la compresión de las diferentes probetas de experimentación, notándose una exagerada plastificación (imágenes: 59 y 60). Pero en general se puede decir que los ensayos aplicados en la 2da Fase fueron un éxito, ya que se tienen resultados que superaron toda expectativa.



**Imagen 60:** Resultado Atípico P18

**Fuente:** El Autor



**Imagen 59:** Resultado Atípico P4

**Fuente :** El Autor

## CAPÍTULO V

### 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los hallazgos más relevantes producto de los diferentes ensayos realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Cuenca para esta tesis, han sido divididos en 3 resultados: Humedad, Peso Seco y Resistencia Mecánica a la Compresión. Los adobes analizados, fueron resultado de la adición de los lodos generados en la PTAP de Tixán en su composición; con el objeto de, mitigar la contaminación producida por el alto contenido de metal pesado (aluminio) que provocan en el suelo de nuestra región. Por consiguiente, detallo los resultados obtenidos apoyado en tablas, gráficos comparativos e imágenes.

#### 6.1 Resultado de los ensayos a la humedad.

El porcentaje de humedad en los adobes naturales (Tabla 7), determinan una media de la misma de 46.237% para los adobes de la primera fase (30 días de secado) y de 8.874% para los adobes de la segunda fase (59 días de secado), demostrando que los adobes en 1 mes pierden aproximadamente el 91% de humedad (Gráfico 1).

Tabla 7

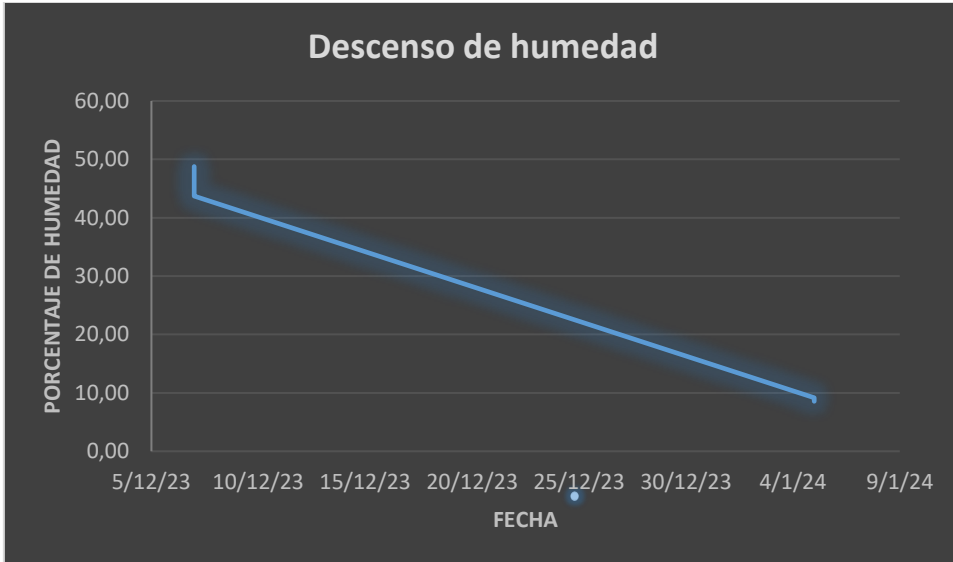
Porcentaje de humedad en los adobes naturales

PORCENTAJE DE HUMEDAD EN LOS ADOBES NATURALES									
$\frac{(Wh+T) - (Ws+T)}{(Ws+T)} \times 100$									
PROBETA	PESO	LARGO	ANCHO	ALTO	Wh+T	T	Ws+T	HUMEDAD	HUMEDAD MEDIA
	g	cm	cm	cm	g	g	g	%	%
<b>1era FASE 7/12/2023</b>									
P1	24939.500	48.130	23.700	12.700	327.000	84.500	247.500	48.773	<b>46.237</b>
P2	26234.600	48.000	23.700	12.600	364.500	85.000	279.500	43.702	
<b>2da FASE 5/01/2024</b>									
P0	23781.000	46.500	23.000	12.300	193.590	44.000	181.000	9.190	<b>8.874</b>
P3	22185.000	46.000	22.800	11.400	163.500	43.000	154.000	8.559	

*Nota.* Fuente: Diego Álvarez

Gráfico 1

Relación: Porcentaje de Humedad / Tiempo

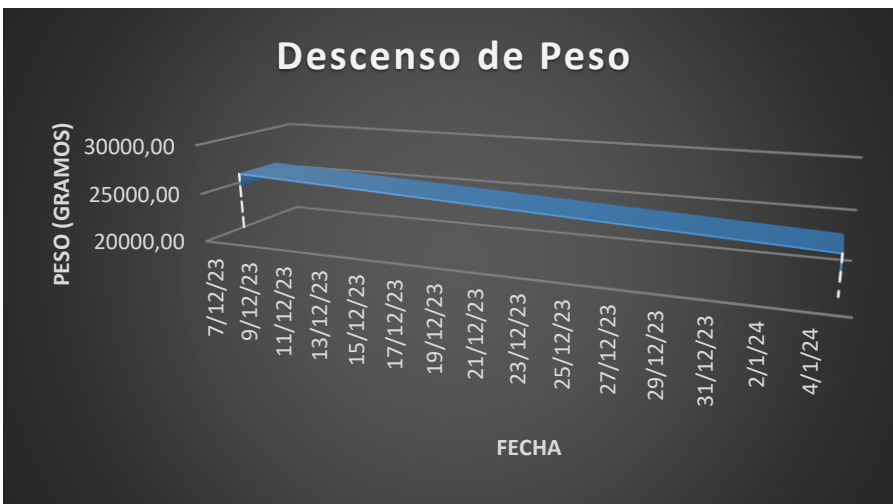


Nota. Fuente: Diego Álvarez

La pérdida de humedad en 1 mes de diferencia entre las fases 1 y 2, provocó cambios significativos en su peso (Gráfico 2) tornándose más pequeños y livianos (Tabla 8). Obteniendo una media de disminución en peso de 3270.7 gramos representando el 13.46 %.

Gráfico 2

Relación: Peso / Tiempo



Nota. Fuente: Diego Álvarez

Tabla 8

Comparación de adobes en peso y forma

COMPARACIÓN DE ADOBES EN PESO / FORMA														
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS ADOBES									COMPARACIÓN DE ADOBES					
Primera Fase 30 DÍAS 7/12/2023					Segunda Fase 59 DÍAS 4/01/2024				PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN					
PROBETA	PESO	LARGO	ANCHO	ALTO	PESO	LARGO	ANCHO	ALTO	PESO	PESO	LARGO	ANCHO	ALTO	
	(g)	(cm)	(cm)	(cm)	(g)	(cm)	(cm)	(cm)	(g)	%	%	%	%	%
ADOBE NATURAL														
P0	-				23781.00	46.5	23	12.3						
P1	24939.50	48.13	23.70	12.70	-									
P2	26234.60	48.00	23.70	12.60	-									
P3	25376.80	46.40	24.90	12.40	22185.00	46	22.8	11.4	3191.8	12.58	0.86	8.43	8.06	
ADOBE ESTABILIZADO AL 3%														
P4	26632.00	46.80	24.00	13.50	23554.00	46	23	13	3078	11.56	1.71	4.17	3.70	
P5	-	46.30	23.70	12.50	23429.00	45.8	22.8	12.4						
P6	-	46.40	24.20	12.80	23787.00	45.5	23	12.6						
ADOBE ESTABILIZADO AL 5%														
P7	24950.00	46.90	23.90	12.70	22205.00	46.4	23.2	12.5	2745	11.00	1.07	2.93	1.57	
P8	-	46.80	24.20	13.00	23241.00	46.3	22.9	13						
P9	-	46.70	24.30	13.50	23823.00	46	22.8	13.2						
ADOBE ESTABILIZADO AL 7.5%														
P10	22995.50	47.00	24.90	12.50	19510.00	46.3	22.8	12	3485.5	15.16	1.49	8.43	4.00	
P11	-	48.00	24.10	13.00	21346.00	47	22.7	12.8						
P12	-	47.10	24.20	12.30	22530.00	46.5	22.9	12.3						
ADOBE ESTABILIZADO AL 10%														
P13	22868.50	47.50	24.20	12.40	19583.00	47	23.4	12	3285.5	14.37	1.05	3.31	3.23	
P14	-	46.80	24.20	12.70	21541.00	46.4	23	12.3						
P15	-	47.40	24.40	12.30	20660.00	46.7	23	12						
ADOBE ESTABILIZADO AL 50%														
P16	23824.50	47.60	23.70	12.70	19986.00	46.2	22.7	12	3838.5	16.11	2.94	4.22	5.51	
P17	-	47.90	24.50	12.30	17880.00	46.8	22.8	11.5						
P18	-	47.40	24.20	12.60	17898.00	46.1	23.3	12.4						
									<b>PESO MEDIO DE DISMINUCIÓN</b>	<b>3270.72</b>				
									<b>PORCENTAJE MEDIO DE DISMINUCIÓN EN PESO</b>	<b>13.46</b>				

Nota. Fuente: Diego Álvarez

### 6.2 Resultado final del peso seco

El resultado (Tabla 9) del peso final de los adobes estabilizados con lodos aluminosos en comparación con los adobes tradicionales sin estabilizante, demostró que a mayor porcentaje de lodos menor peso de las probetas. (Gráfico 3)

Gráfico 3

Relación: Peso de probetas / Adición de Lodos aluminosos



Nota. Fuente: Diego Álvarez

Tabla 9

Relación peso / adición de lodos aluminosos

<b>Relación peso / adición de lodos aluminosos</b>			
<b>PROBETA</b>	<b>Fecha</b>	<b>ADICIÓN DE LODOS</b>	<b>PESO</b>
		(%)	(g)
P1	7/12/2023	0	24939.50
P2	7/12/2023	0	26234.60
P0	5/01/2024	0	23781.00
P3	4/01/2024	0	22185.00
P4	4/01/2024	3	23554.00
P5	4/01/2024	3	23429.00
P6	4/01/2024	3	23787.00
P7	5/01/2024	5	22205.00
P8	5/01/2024	5	23241.00
P9	5/01/2024	5	23823.00
P10	5/01/2024	7.5	19510.00
P11	5/01/2024	7.5	21346.00
P12	15/01/2024	7.5	22530.00
P13	15/01/2024	10	19583.00
P14	15/01/2024	10	21541.00
P15	15/01/2024	10	20660.00
P16	15/01/2024	50	19986.00
P17	15/01/2024	50	17880.00
P18	15/01/2024	50	17898.00

*Nota.* Fuente: Diego Álvarez

### **6.3 Resultado de la resistencia mecánica a la compresión**

Los resultados de los ensayos a la compresión que presentaron los adobes de la segunda fase (59 días de secado), fueron sumamente superiores a los obtenidos en la primera fase (30 días de secado). Obteniendo como resultado un incremento medio de hasta el 30.21% en resistencia (Tabla 9).

Tabla 10

Ensayos de resistencia mecánica a la compresión fase1 / fase2

ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN - FASE1 / FASE2								
Primera Fase								AUMENTO DE RESISTENCIA ENTRE FASE 1 Y FASE 2
PROBETA	Fecha de rotura	PESO	Fuerza Máx.	Área	Esfuerzo Máx.	Deformación Max.	Media Esfuerzo Máx.	
		(g)	(kgf)	(cm2)	(kgf/cm2)	(%)	(kgf/cm2)	
ADOBE NATURAL								
P1	7/12/2023	24939.50	3147.94	934.11	3.37	16.04	3.53	
P2	7/12/2023	26234.60	3447.59	934.31	3.69	20.36		
Segunda Fase								
PROBETA	Fecha de rotura	PESO	Fuerza Máx.	Área	Esfuerzo Máx.	Deformación Max.	Media Esfuerzo Máx.	
		(g)	(kgf)	(cm2)	(kgf/cm2)	(%)	(kgf/cm2)	
ADOBE NATURAL								
P0	5/01/2024	23781.00	28616.60	935.18	30.6	27.94	26.80	23.265
P3	4/01/2024		21499.60	935.17	22.99	25.00		
ADOBE ESTABILIZADO AL 3%								
P4	4/01/2024	23554.00	10543.50	935.04	11.276	3.85	35.44	31.905
P5	4/01/2024	23429.00	34005.20	934.98	36.37	28.34		
P6	4/01/2024	23787.00	32254.70	934.92	34.5	20.50		
ADOBE ESTABILIZADO AL 5%								
P7	5/01/2024	22205.00	30432.80	934.96	32.55	30.10	33.05	29.517
P8	5/01/2024	23241.00	31708.60	935.08	33.91	28.43		
P9	5/01/2024	23823.00	30557.90	935.06	32.68	30.18		
ADOBE ESTABILIZADO AL 7.5%								
P10	5/01/2024	19510.00	60609.70	935.05	64.82	66.94	36.65	33.120
P11	5/01/2024	21346.00	24602.70	935.11	26.31	8.83		
P12	15/01/2024	22530.00	34266.20	934.96	36.65	24.79		
ADOBE ESTABILIZADO AL 10%								
P13	15/01/2024	19583.00	35175.70	935.03	37.62	49.37	36.79	33.257
P14	15/01/2024	21541.00	31699.90	935.10	33.9	17.89		
P15	15/01/2024	20660.00	36317.20	935.05	38.84	55.02		
ADOBE ESTABILIZADO AL 50%								
P16	15/01/2024	19986.00	32579.00	935.10	34.84	46.56	?	?
P17	15/01/2024	17880.00	80112.50	935.02	85.68	46.40		
P18	15/01/2024	17898.00	14800.50	934.97	15.83	8.28		
<b>INCREMENTO MEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ENTRE FASE 1 Y Fase 2</b>								<b>30.21</b>
RESULTADOS ATÍPICOS EN LOS CUALES NO SE OBTUVO UN DESCENSO DEL ESFUERZO.								

Nota. Fuente: Diego Álvarez

A los 59 días de secado, los adobes estabilizados con lodos de estudio, producidos en el desarrollo de esta tesis presentaron resultados diversos de resistencia a la compresión (tabla 10), de los cuales se obtiene como resultado, que los adobes estabilizados al 3%-5%-7,5% y 10% aumentaron su resistencia en un porcentaje medio del 8.68% (Tabla 11), en comparación a las probetas P0 y P3 (adobes tradicionales sin estabilizante) que presentaron una resistencia media de 26.80Kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 11

Ensayos de resistencia mecánica a la compresión - Resultado Final

ENSAYOS DE RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN - Resultado comparativo final								
PROBETA	Fecha de rotura	PESO	Fuerza Máx.	Área	Esfuerzo Máx.	Deformación Max.	Media Esfuerzo Máx.	AUMENTO DE RESISTENCIA DE LODOS ESTABILIZADOS EN RELACIÓN A ADOBES TRADICIONALES
		(g)	(kgf)	(cm2)	(kgf/cm2)	(%)	(kgf/cm2)	(%)
ADOBE NATURAL								
P0	5/01/2024	23781.00	28616.60	935.18	30.6	27.94	<b>26.80</b>	
P3	4/01/2024		21499.60	935.17	22.99	25.00		
ADOBE ESTABILIZADO AL 3%								
P4	4/01/2024	23554.00	10543.50	935.04	11.276	3.85	<b>35.44</b>	<b>8.640</b>
P5	4/01/2024	23429.00	34005.20	934.98	36.37	28.34		
P6	4/01/2024	23787.00	32254.70	934.92	34.5	20.50		
ADOBE ESTABILIZADO AL 5%								
P7	5/01/2024	22205.00	30432.80	934.96	32.55	30.10	<b>33.05</b>	<b>6.252</b>
P8	5/01/2024	23241.00	31708.60	935.08	33.91	28.43		
P9	5/01/2024	23823.00	30557.90	935.06	32.68	30.18		
ADOBE ESTABILIZADO AL 7.5%								
P10	5/01/2024	19510.00	60609.70	935.05	64.82	66.94	<b>36.65</b>	<b>9.855</b>
P11	5/01/2024	21346.00	24602.70	935.11	26.31	8.83		
P12	15/01/2024	22530.00	34266.20	934.96	36.65	24.79		
ADOBE ESTABILIZADO AL 10%								
P13	15/01/2024	19583.00	35175.70	935.03	37.62	49.37	<b>36.79</b>	<b>9.992</b>
P14	15/01/2024	21541.00	31699.90	935.10	33.9	17.89		
P15	15/01/2024	20660.00	36317.20	935.05	38.84	55.02		
ADOBE ESTABILIZADO AL 50%								
P16	15/01/2024	19986.00	32579.00	935.10	34.84	46.56	<b>?</b>	<b>?</b>
P17	15/01/2024	17880.00	80112.50	935.02	85.68	46.40		
P18	15/01/2024	17898.00	14800.50	934.97	15.83	8.28		
<b>INCREMENTO MEDIO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ENTRE ADOBES ESTABILIZADOS Y ADOBES TRADICIONALES</b>								<b>8.68</b>
RESULTADOS ATÍPICOS EN LOS CUALES NO SE OBTUVO UN DESCENSO DEL ESFUERZO.								

Nota. Fuente: Diego Álvarez

Todos los resultados de laboratorio para las probetas P16-P17-P18 que corresponden a los adobes estabilizados al 50% presentaron resultados atípicos (Anexos 17,18,19 y 20). Presentando una deformación extraña, sin llegar al fracaso y más bien compactándose exageradamente. (Imagen: 61)



**Imagen 61:**Resultado Atípico Probeta 18

Fuente: El Autor

## **CAPÍTULO VI**

### **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Después del análisis de los resultados, las conclusiones y recomendaciones se basan en los parámetros de tiempo de secado y su resistencia a la compresión, tomando como primera instancia la comparación de los resultados de la 1era fase (30 días de secado) y la 2da fase (59 días de secado) que establecerán las guías para remediar los problemas de contaminación que los lodos aluminosos causan al medio ambiente e inclusive, se puede obtener adobes mejorados en su resistencia, para ser usados como material constructivo. Es por lo consiguiente que, presento las principales conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados obtenidos en la experimentación.

#### **7.1 Conclusiones.**

##### **7.1.1 Conclusión de acuerdo al tiempo de secado**

El adobe es más resistente mientras más seco este, su porcentaje de humedad influye directamente en su resistencia a la compresión.

##### **7.1.2 Conclusión de acuerdo a la resistencia mecánica a la compresión**

Los adobes estabilizados con lodos aluminosos provenientes de la PTAP de Tixán al 3%-5%-7.5% y 10% aumentan la resistencia en un 8.68% superando en un 23.48% la carga mínima exigida en la Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada peruana, demostrando que los lodos aluminosos pueden ser utilizados como parte constituyente de los adobes para mitigar los problemas que causan al medio ambiente por la contaminación que ocasionan al suelo.

##### **7.1.3 Conclusión de acuerdo al peso**

Los adobes estabilizados con los lodos aluminosos provenientes de la purificación del agua aminoran el peso final, esto contribuye enormemente en su desempeño en la construcción, puesto que, la carga final sobre el suelo será más liviana lo que conlleva a un posible aumento en el desarrollo vertical de la vivienda.

## **7.2 Recomendaciones**

### **7.2.1 Recomendación de acuerdo al tiempo de secado**

Se recomienda utilizar los adobes a los 2 meses de secado en la construcción, puesto que las pruebas de laboratorio demostraron que en este período de tiempo la humedad del 8.9% representó una disminución del 91%, aumentando su resistencia.

### **7.2.2 Recomendación de acuerdo a la resistencia mecánica a la compresión**

No es recomendada la adición de lodos aluminosos al 50% para la elaboración de adobes, puesto que disminuyen la resistencia de los mismos y comprometen su estructura.

### **7.2.1 Recomendación para futuras pruebas similares**

La elaboración de esta tesis demuestra que se debe esperar como mínimo 2 meses de secado de los adobes estabilizados con lodos aluminosos de la PTAP para su utilización en la construcción. Se recomienda elaborar y realizar pruebas de resistencia a la compresión a adobes estabilizados en porcentajes comprendidos entre 10% y 40% a los 3 meses de secado, puesto que, mediante los resultados de esta tesis se considera porcentajes que pueden ser óptimos para obtener adobes estabilizados que aporten mayormente tanto a la construcción como a una solución ambiental que mitigue los estragos de contaminación al suelo originados por la disposición de estos lodos como relleno sanitario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreoli, V. C. (2004). Utilización de Residuos do Saneamiento como Materia-Prima para Productos Cerámicos e Substrato para Producción Vegetal. Programa de Pesquisas En Saneamento Básico - PROSAB, Companhia de Saneamento Do Paraná - SANEPAR.
- Calderón Peñafiel, J. (2013) "Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia", Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Catalunya.
- Calderón Peñafiel, J. (2013) "Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia", Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Catalunya.
- Cevallos, P. (1992). Las construcciones en tierra en Ecuador. Innovaciones tecnológicas. Revista INVI, 7(núm. 16). Recuperado el 11 de noviembre de 2023 de <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/156>
- Chen-Feng, C., & Yung-Chao, K. (1994). Effect of rare-earth oxide concentrates on reactions, Densification and Slag Resistance of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> Ceramic Refractories. *Ceramics International*, 20(1), 31–37
- Cid Falceto, J. (2012). Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Cid, J., Mazarrón, F., & Cañas, I. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Informes de la Construcción*, 63(523), 159-169. Recuperado el 01 de noviembre de 2023 de <http://dx.doi.org/10.3989/ic.10.011>
- CONSTRUAPRENDE, C. A. P.-. (2012). CAP - CONSTRUAPRENDE. Práctica 1: Laboratorio de Cerámicos. Recuperado de [http://www.construaprende.com/Lab/1/Prac1%7B\\_%7D1](http://www.construaprende.com/Lab/1/Prac1%7B_%7D1)
- Cuenca.gov.ec. (2017). ALCALDIA INICIARÁ TRABAJOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE TIXÁN. NOTICIAS. Retrieved from <http://www.cuenca.gov.ec/?q=content/alcalda%7B%7Da-iniciar%7B%7D-trabajos-de-la-planta-de-tratamiento-de-tix%7B%7Dn>
- Diseños Definitivos para la Ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán Módulo II. (2015). Cuenca, Ecuador: ETAPA EP.
- Gonzalo Sánchez, V. (2012) Morteros de barro estabilizados con fibras de paja, esparto y sisal
- Guimaraes, M., & Morita, D. (2003). Corporação de Lodo de Estações de Tratamento de Água em Blocos Cerámicos. Universidad de Sao Paulo, Brasil.
- Jiménez Vicario P., García Martínez, P., López Jiménez J. Torre de adobe. (2016). Análisis gráfico y constructivo de las casas-torre de Yemen. *Anuario jóvenes investigadores* nº 9. Recuperado el 11 de noviembre de 2023 de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5534/taa.pd-f?sequence=1&isAllowed=y>
- López-Arce, P. (2012). Caracterización de ladrillos históricos. Universidad Complutense de Madrid. <http://hdl.handle.net/10261/46792>
- LÓPEZ-ARCE, Paula. (2012) Caracterización de ladrillos históricos. La conservación de los geomateriales utilizados en el patrimonio: Programa Geomateriales. Recuperado el 10 de noviembre de 2023 de [http://digital.csic.es/bitstream/10261/46792/1/Curso\\_Geomateriales\\_75\\_84.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/46792/1/Curso_Geomateriales_75_84.pdf).
- MEMORIA TECNICA PLANTA DE TIXAN.pdf. (2015). Cuenca: Gerencia de agua potable y saneamiento.

- Ministerio de Vivienda (Ed.). (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada. <https://wE080> Norma técnica de diseño y construcción. <https://www.udocz.com/apuntes/79123/e080>
- Minke, G. (2001). Manual de construcción para viviendas anti-sísmicas de tierra. Universidad de Kassel, Alemania. Recuperado el 01 de diciembre del 2023 de [http://www.itacanet.org/esp/construccion/Construccion\\_tierra.pdf](http://www.itacanet.org/esp/construccion/Construccion_tierra.pdf)
- Minke, G. (2001). Manual de construcción para viviendas anti-sísmicas de tierra. Universidad de Kassel, Alemania. Recuperado el 01 de diciembre del 2023 de [http://www.itacanet.org/esp/construccion/Construccion\\_tierra.pdf](http://www.itacanet.org/esp/construccion/Construccion_tierra.pdf)
- Minke, G. (2001). Manual de construcción para viviendas anti-sísmicas de tierra. Universidad de Kassel, Alemania. Recuperado el 01 de diciembre del 2023 de [http://www.itacanet.org/esp/construccion/Construccion\\_tierra](http://www.itacanet.org/esp/construccion/Construccion_tierra)
- NEC, NORMA TÉCNICA DE LA CONSTRUCCIÓN (2023), Ecuador. Recuperado el 25 de marzo de 2024 de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion>
- Norma Técnica de Edificación NTE E.080. Diseño y construcción con tierra reforzada. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, Perú, 2017. Recuperado el 18 de octubre del 2023 de <https://www.udocz.com/read/norma-e-080-diseno-y-contruccion-con-tierra-reforzada-actualizada-pdf>
- Novadora, A. (2002). Inertização de Biossólidos em Tijolos Cerâmicos Maciços: Aspectos Tecnológicos e Ambientais. Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- Orellana Calle, V. (2017). Adobe, puesta en valor y estrategias para la conservación de una cultura constructiva. Tesis de Maestría. Universidad de Cuenca.
- Oteiza I. Introducción a la construcción en Tierra. (2002). *Arquitectura y Construcción de Tierra, Tradición e Innovación*. pg. 99-116. Recuperado el 11 de noviembre de 2023 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3619384>
- Oteiza I. Introducción a la construcción en Tierra. (2002). *Arquitectura y Construcción de Tierra, Tradición e Innovación*. pg. 99-116. Recuperado el 18 de octubre de 2023 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3619384>
- para su uso como revestimientos. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, Bibliografía España
- Rodríguez Díaz, M. A.; Saroza Horta, B. "Identificación de la composición óptima del adobe como material de construcción de una escuela en Cuba". Madrid, España. 2005.
- Salvini, V. R., Innocentini, D. M., Ridrigues, J. A., & Pandolfelli, V. C. (2001). Creep in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic filters. *Cerámica*, 47(304), 193–198.
- Sandoval, L., Flores, L. M., Montellandos, L., Morán, M. A., Rubí, R., Sánchez, L. O., Martín, A. (1998). Tratabilidad de los Lodos Producidos en la Coagulación de Aluminio en la Potabilización del Agua. Seminario Regional Bienal Sobre La Potabilización Filtración. Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua (IMTA).
- Stamenkovic, I., Simicic, V., Sigulinski, F., Martinovic, P., & Stefanovic, R. (1977). Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> heat insulating refractories. *Ceramurgia International*, 3(4), 168.
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(3), 145–154. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732012000300003>
- Torres, P., Hernández, D., & Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(3), 145–154. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732012000300003>

Van der Smisse, P. (2011). La vida de las cosas. Un estudio antropológico sobre el material de Construcción tradicional adobe. Tesis de Maestría. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España

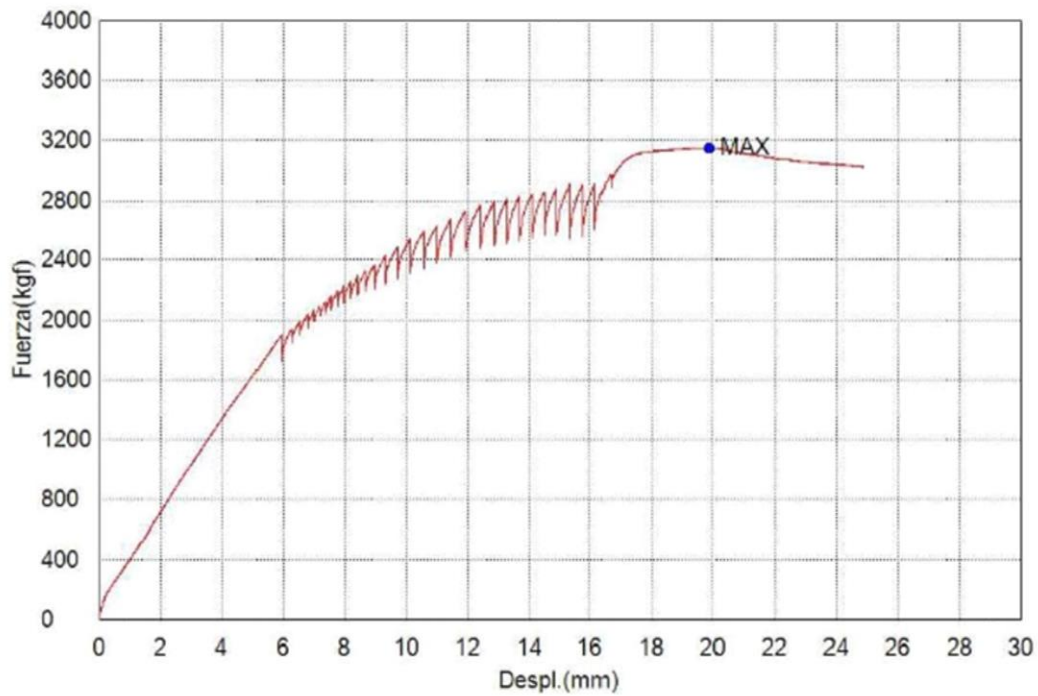
Zuluaga, D. (2005). El uso de la cal en la estabilización de suelos derivados de cenizas volcánicas (Andosoles) un caso particular. Tesis de ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS Y TRANSPORTE, Universidad nacional de Colombia, Manizales.

## ANEXOS

### Anexo 4: P1

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	ADOBES_TESIS_20231207_1025.xtux	Nombre de metodo de ensayo	ADOBES_TESIS.xmux
Fecha de informe	7/12/2023	Fecha de ensayo	7/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	3147.94	3,36678	16,0413
Media	3147.94	3,36678	16,0413
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000

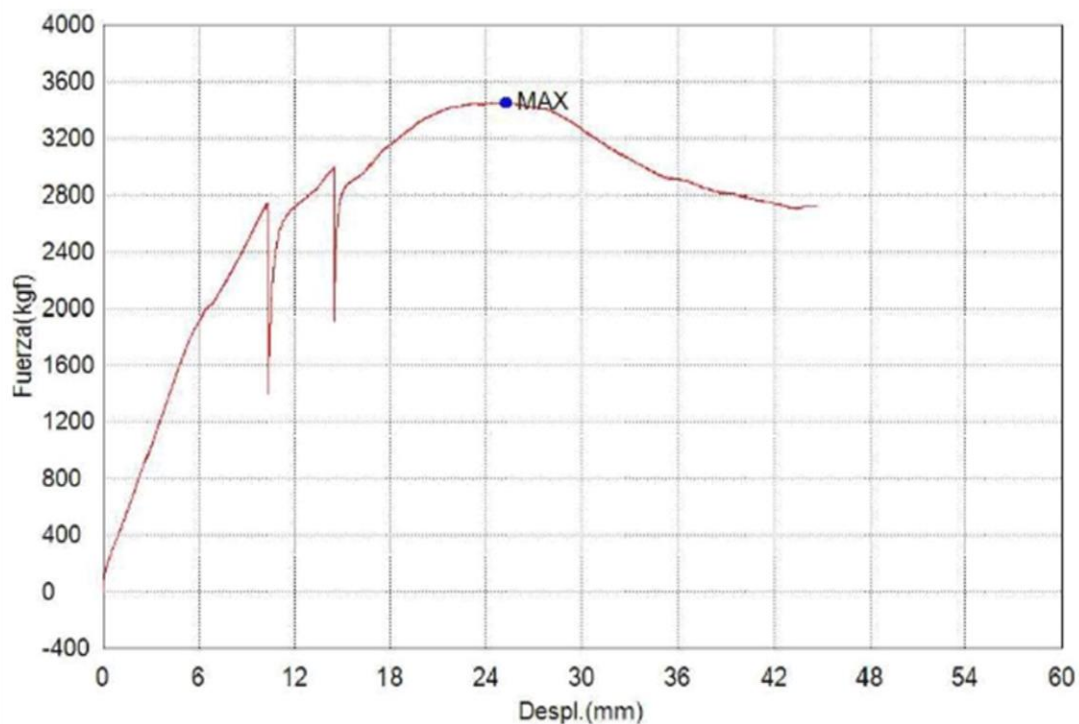


Comentarios

## Anexo 5: P2

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	ADOBES_TESIS_20231207_1128.xtux	Nombre de metodo de ensayo	ADOBES_TESIS.xmux
Fecha de informe	7/12/2023	Fecha de ensayo	7/12/2023
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

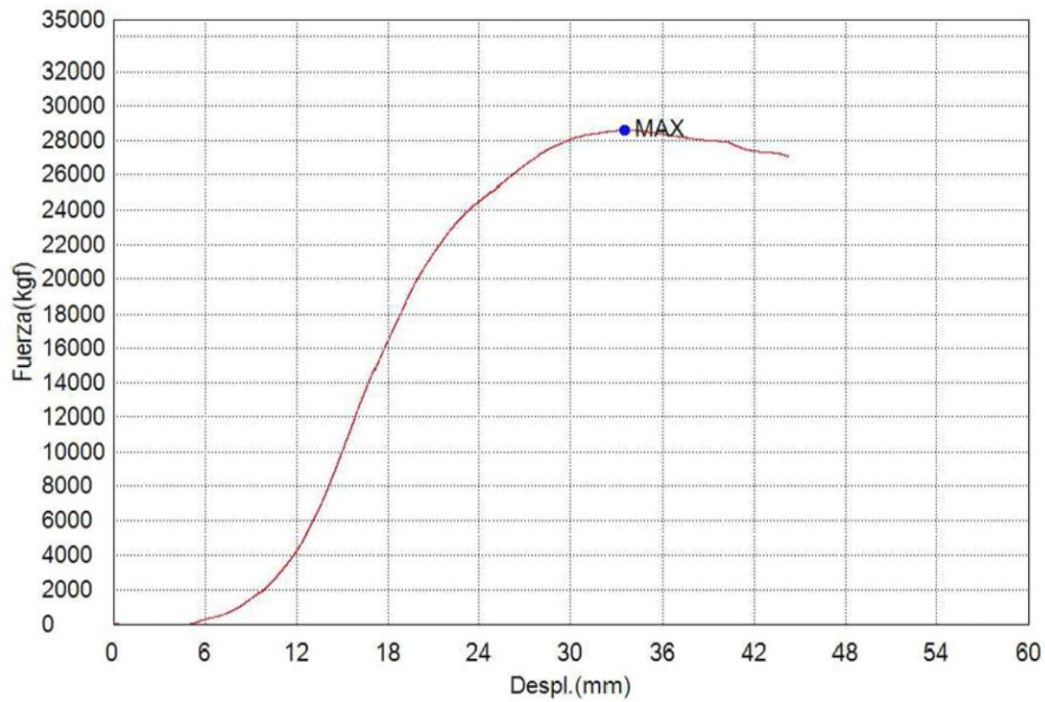
Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	3447.59	3,68727	20,3620
Media	3447.59	3,68727	20,3620
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



## Anexo 6: P0

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240105_1136.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/1/2024	Fecha de ensayo	5/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	28616,6	30,6060	27,9398
Media	28616,6	30,6060	27,9398
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



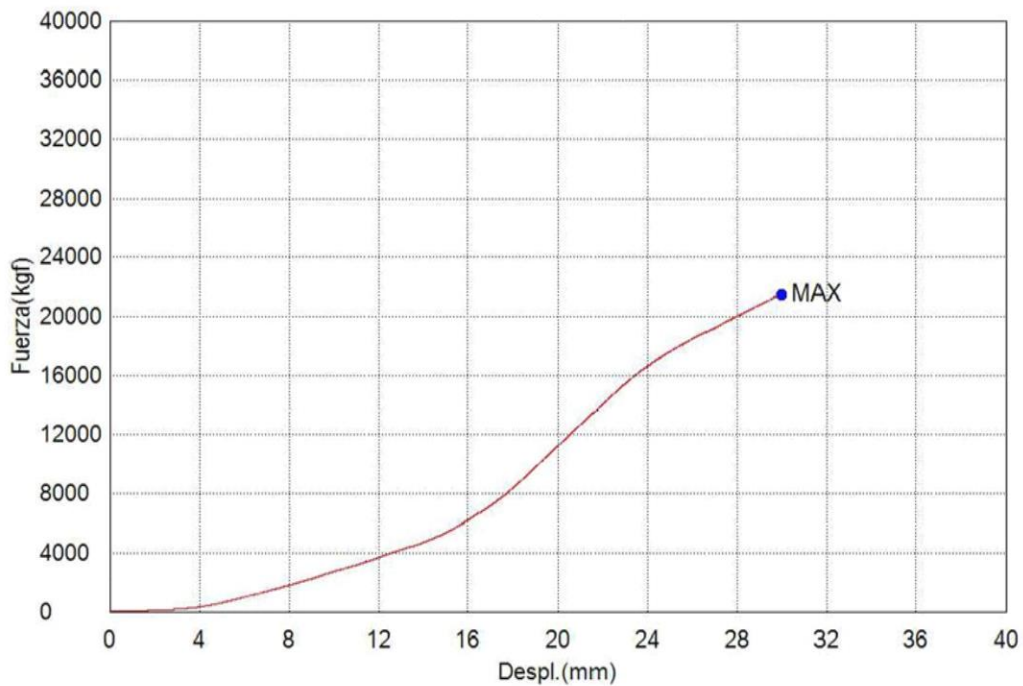
Comentarios

## Anexo 7: P3

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240104_1612.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/1/2024	Fecha de ensayo	4/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	21499,6	22,9942	24,9964
Media	21499,6	22,9942	24,9964
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



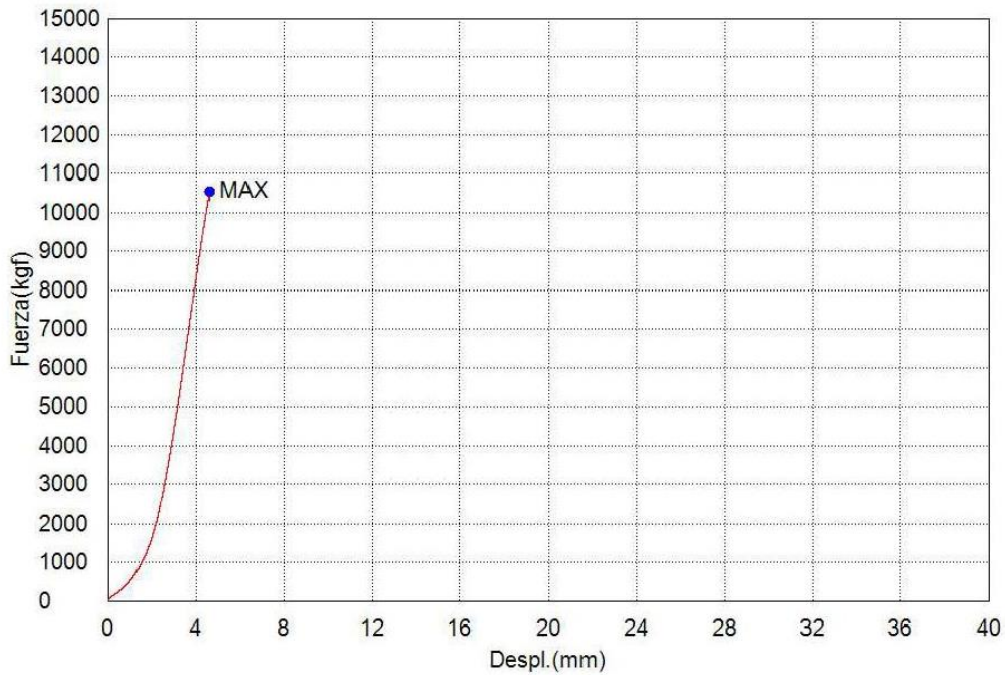
Comentarios

## Anexo 8: P4

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240104_1644.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/1/2024	Fecha de ensayo	4/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	10543,5	11,2764	3,84990
Media	10543,5	11,2764	3,84990
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



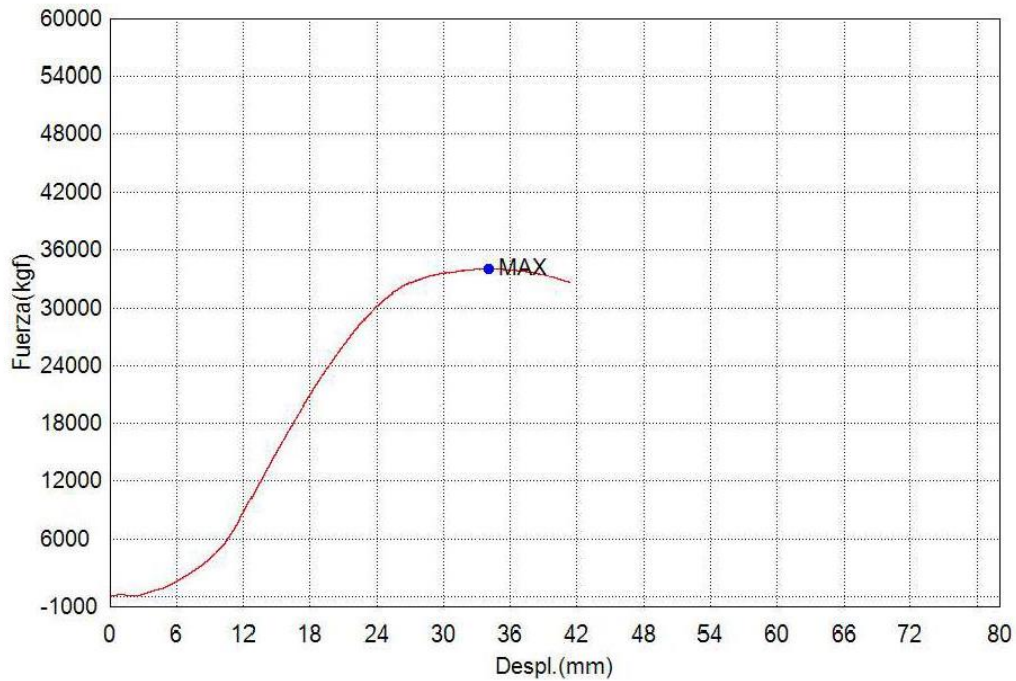
Comentarios

## Anexo 9: P5

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240104_1717.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/1/2024	Fecha de ensayo	4/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	34005,2	36,3692	28,3369
Media	34005,2	36,3692	28,3369
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



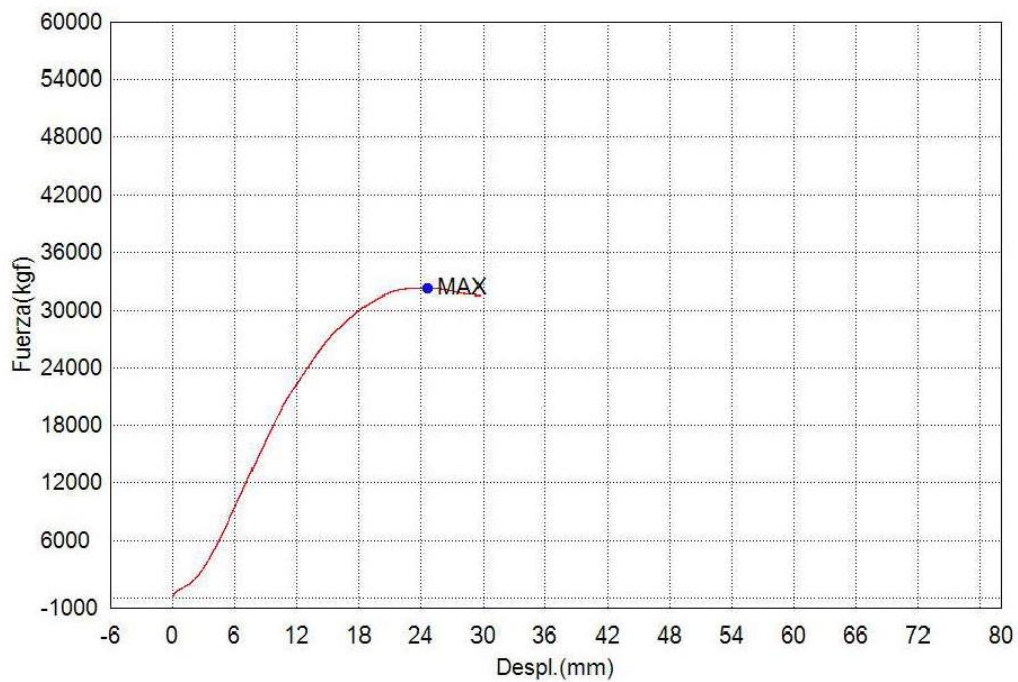
Comentarios

## Anexo 10: P6

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240104_1755.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	4/1/2024	Fecha de ensayo	4/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	32254,7	34,4970	20,4979
Media	32254,7	34,4970	20,4979
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



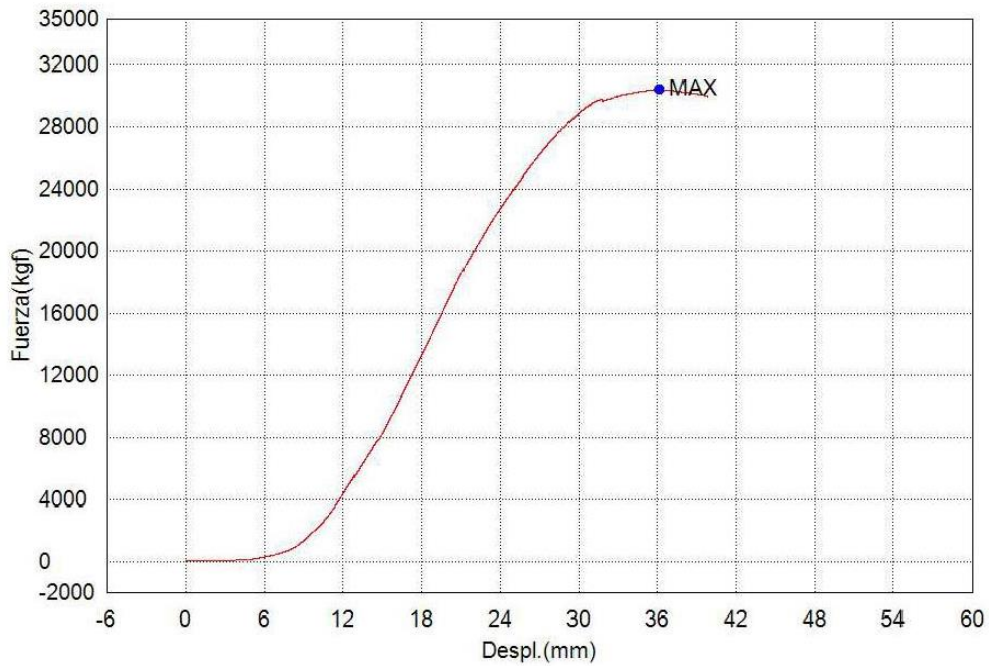
Comentarios

**Anexo 11: P7**

**Titulo**

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240105_1202.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/1/2024	Fecha de ensayo	5/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
N° de partidas:	1	N° de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	30432,8	32,5485	30,0989
Media	30432,8	32,5485	30,0989
Desviacion Estandar	-.-	-.-	-.-
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



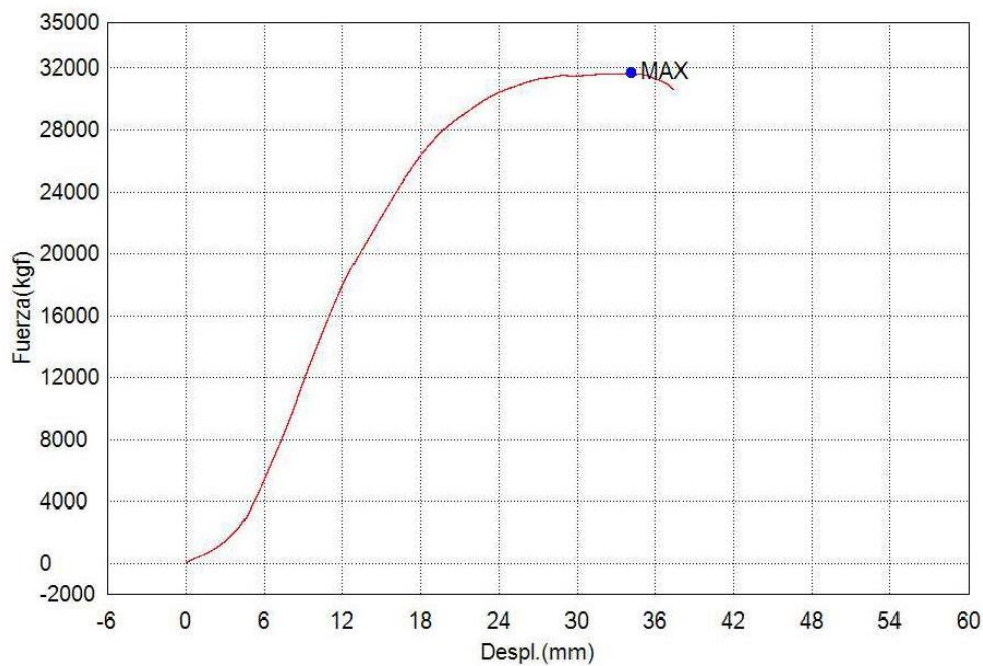
Comentarios

## Anexo 12: P8

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240105_1226.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/1/2024	Fecha de ensayo	5/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	31708,6	33,9129	28,4340
Media	31708,6	33,9129	28,4340
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



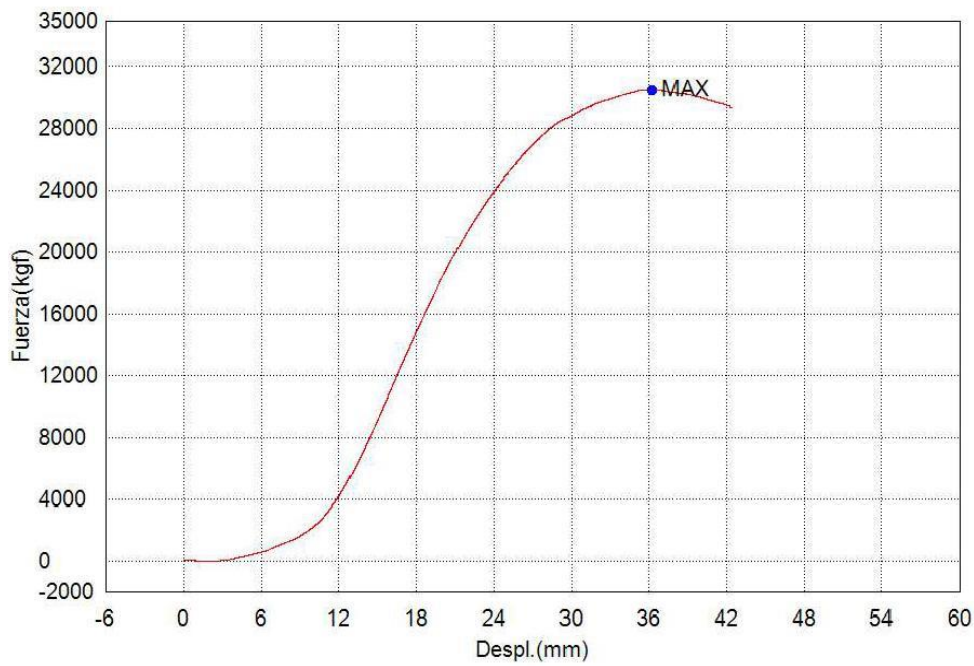
Comentarios

**Anexo 13: P9**

**Titulo**

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240105_1253.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/1/2024	Fecha de ensayo	5/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	30557,9	32,6822	30,1839
Media	30557,9	32,6822	30,1839
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



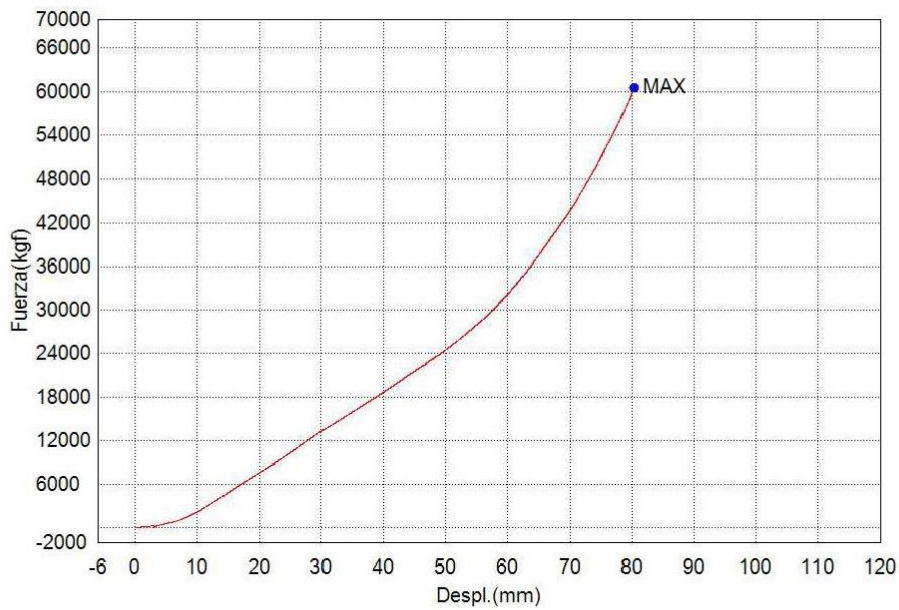
Comentarios

## Anexo 14: P10

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240105_1349.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	5/1/2024	Fecha de ensayo	5/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	60609,7	64,8233	66,9440
Media	60609,7	64,8233	66,9440
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



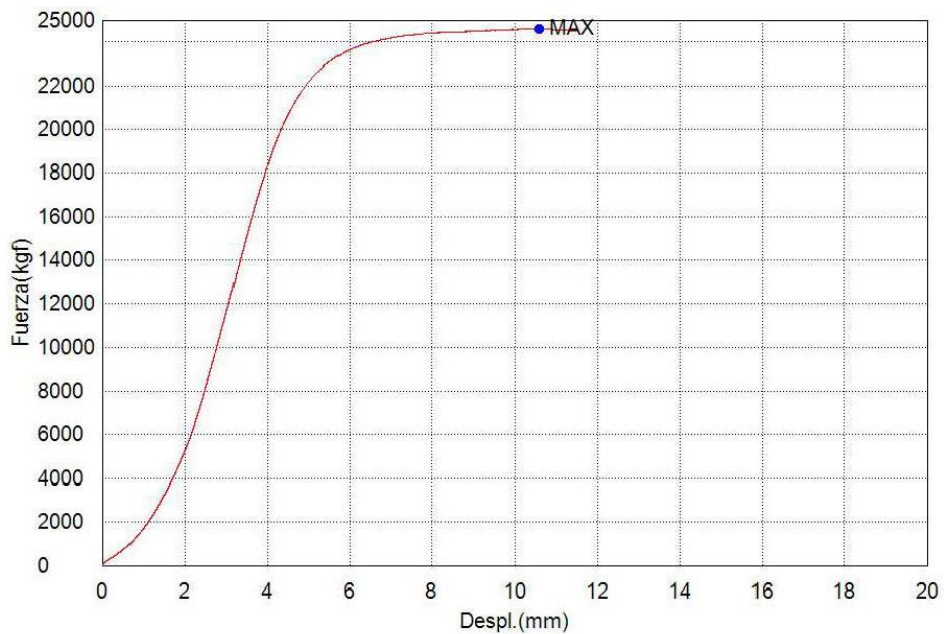
Comentarios

## Anexo 15: P11

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240115_1129.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/1/2024	Fecha de ensayo	15/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	24602,7	26,3131	8,82917
Media	24602,7	26,3131	8,82917
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



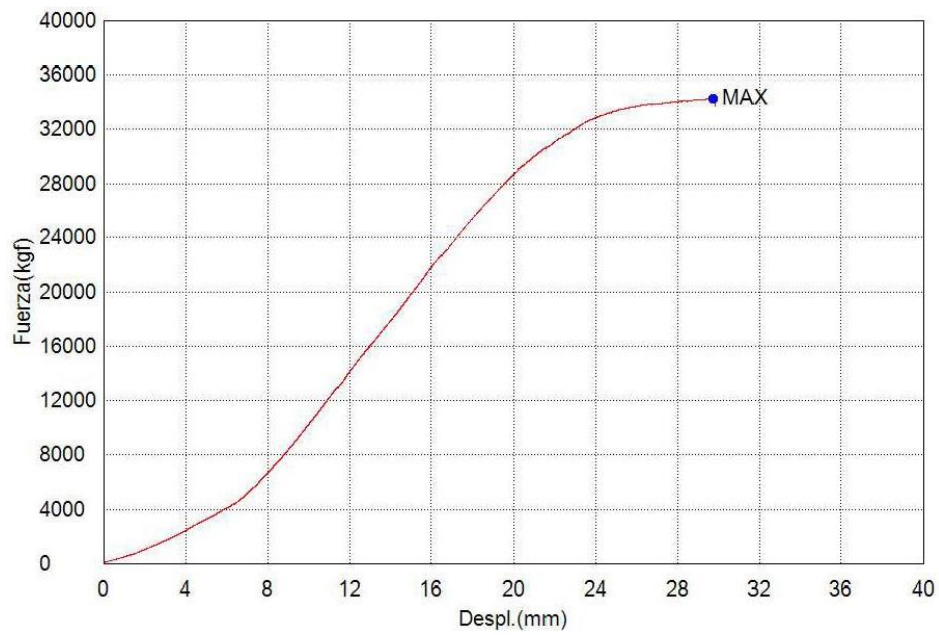
Comentarios

## Anexo 16: P12

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240115_1150.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/1/2024	Fecha de ensayo	15/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	34266,2	36,6484	24,7864
Media	34266,2	36,6484	24,7864
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



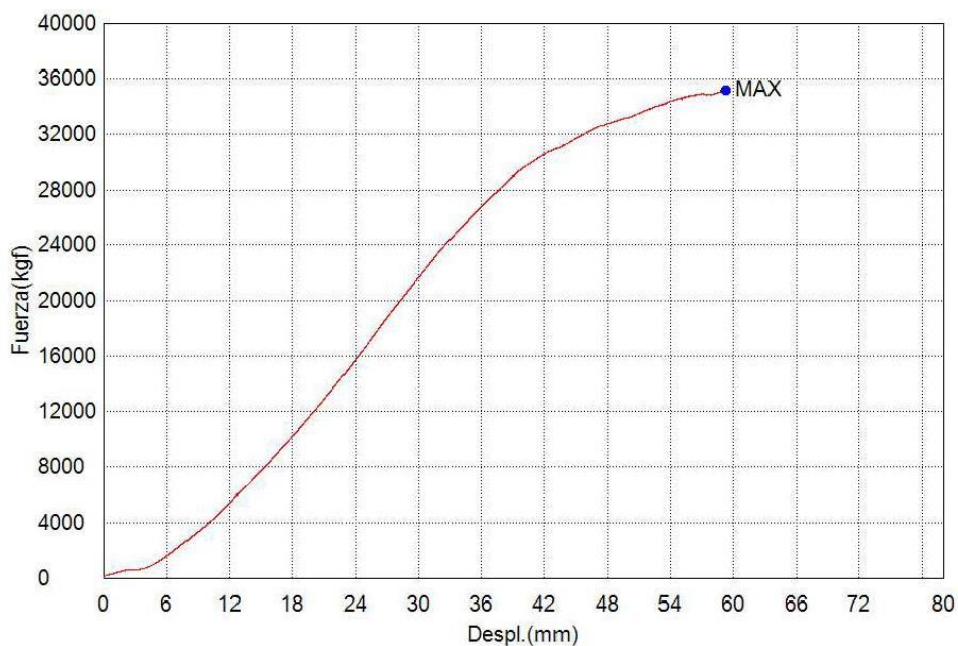
Comentarios

## Anexo 17.P13

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240115_1228.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/1/2024	Fecha de ensayo	15/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	35175,7	37,6211	49,3664
Media	35175,7	37,6211	49,3664
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



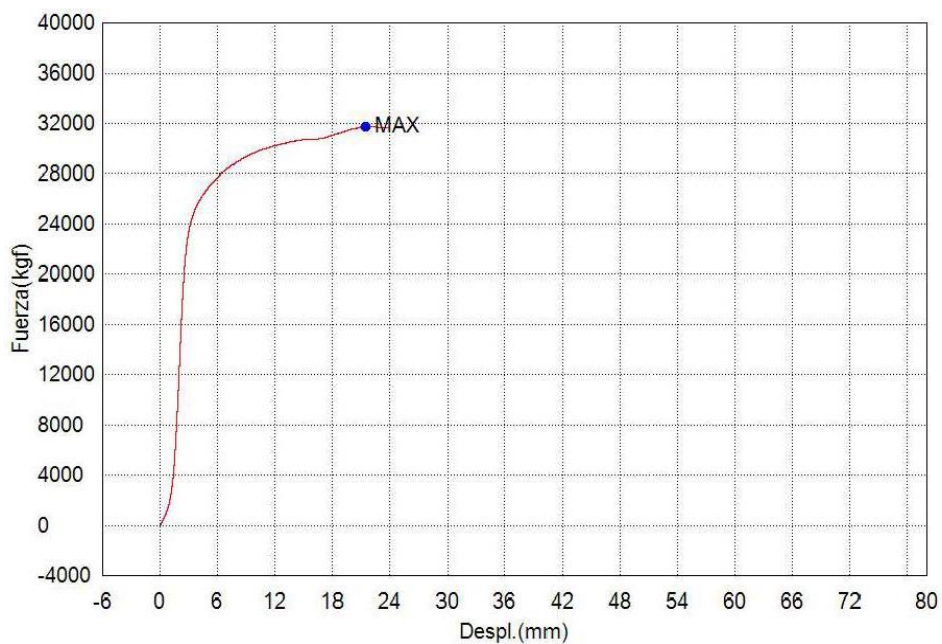
Comentarios

## Anexo 18:P14

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240115_1300.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/1/2024	Fecha de ensayo	15/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	31699,9	33,9036	17,8960
Media	31699,9	33,9036	17,8960
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



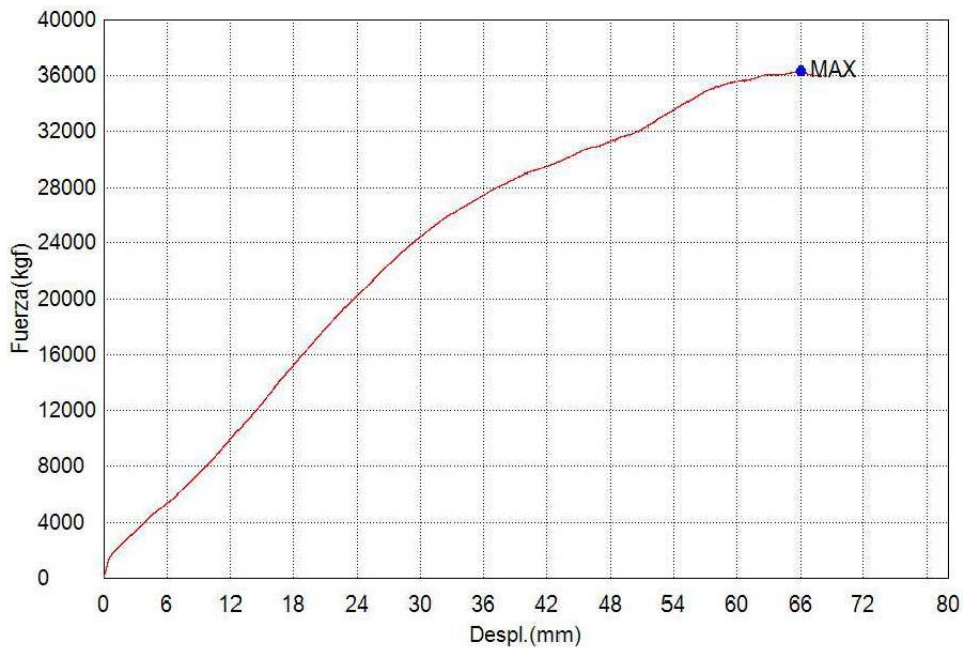
Comentarios

## Anexo 19: P15

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240115_1335.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/1/2024	Fecha de ensayo	15/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	36317,2	38,8419	55,0224
Media	36317,2	38,8419	55,0224
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



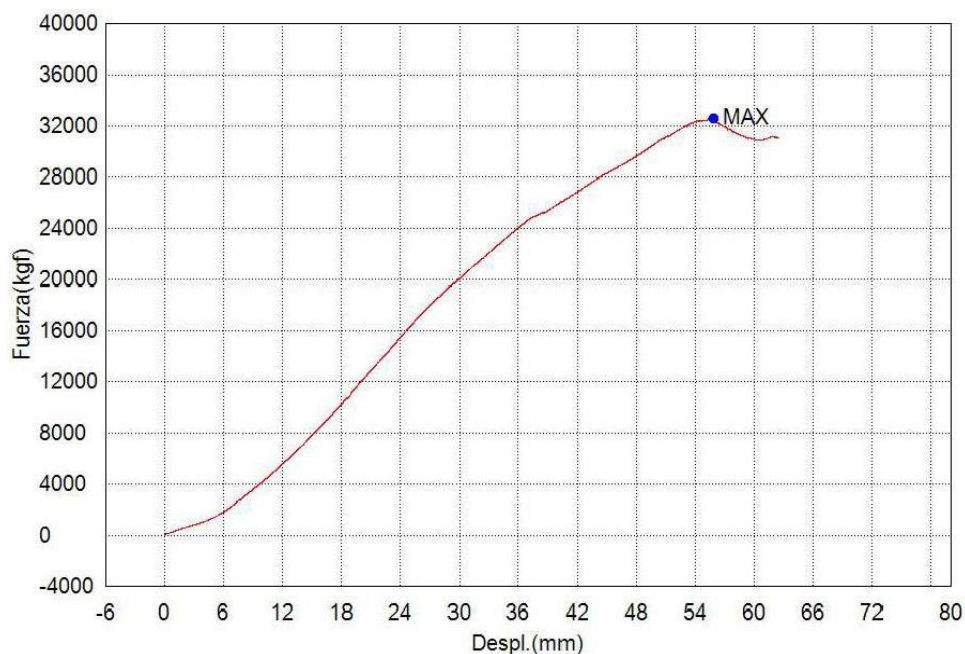
Comentarios

## Anexo 20: P16

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240115_1406.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/1/2024	Fecha de ensayo	15/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	32579,0	34,8439	46,5584
Media	32579,0	34,8439	46,5584
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



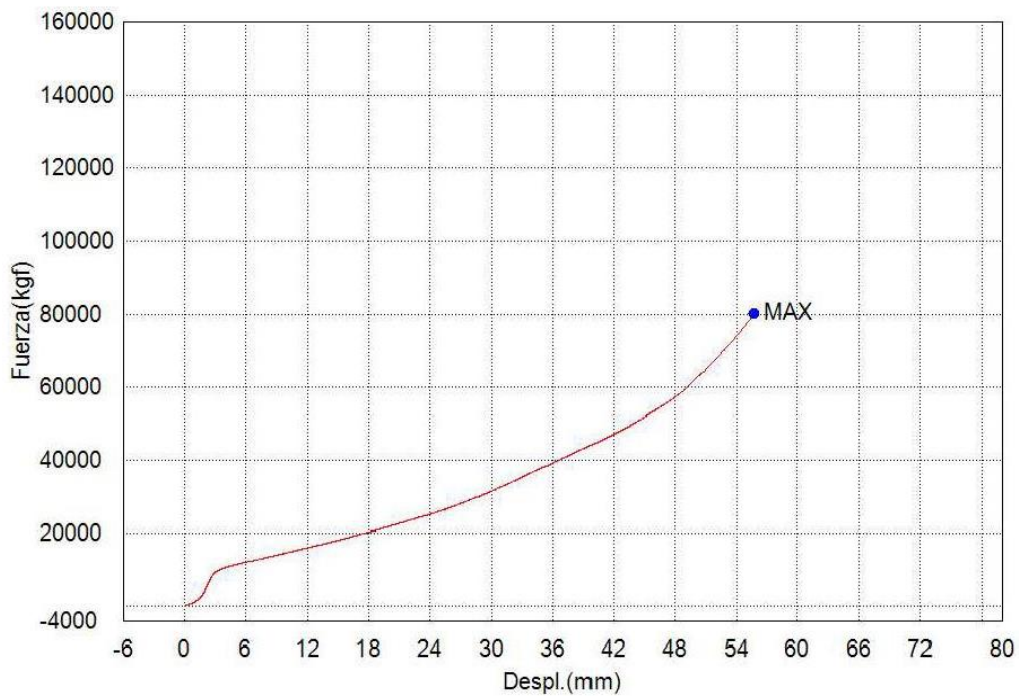
Comentarios

## Anexo 21: P17

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240115_1525.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/1/2024	Fecha de ensayo	15/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max_Fuerza	Max_Esfuerzo	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	80112,5	85,6818	46,4079
Media	80112,5	85,6818	46,4079
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



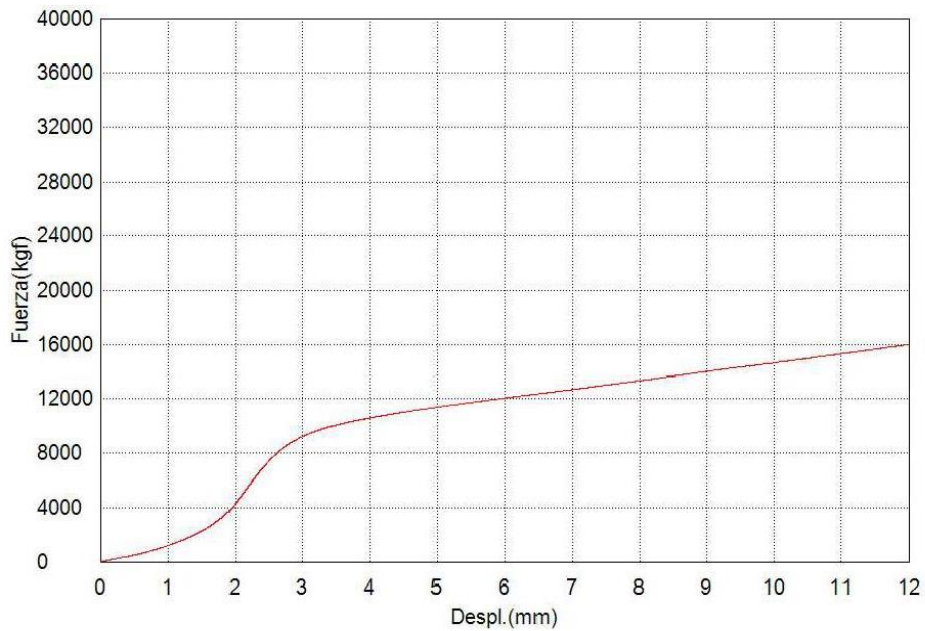
Comentarios

## Anexo 22: Probeta 17 detalle

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240115_1525.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/1/2024	Fecha de ensayo	15/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	80112,5	85,6818	46,4079
Media	80112,5	85,6818	46,4079
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



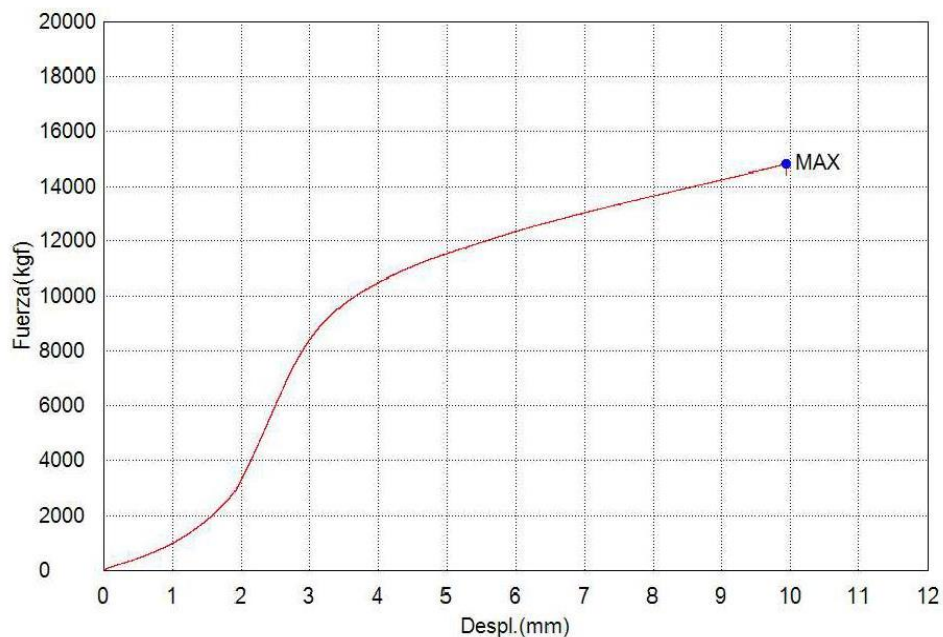
Comentarios

## Anexo 23: P18

### Titulo

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240115_1548.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	15/1/2024	Fecha de ensayo	15/1/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5mm/min	Forma	Plana
N°de partidas:	1	N°de muestras:	1

Nombre	Max. Fuerza	Max. Esfuerzo	Max. Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	%
1_1	14800,5	15,8294	8,28240
Media	14800,5	15,8294	8,28240
Desviacion Estandar	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000



Comentarios

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Wilson Diego Alvarez Abril portador de la cédula de ciudadanía N° 0103243457. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Elaboración de adobes utilizando lodos generados en la planta de tratamiento de agua potable de Tixán en la ciudad de Cuenca-Ecuador" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo, autorizo a la universidad para que realice la publicación de este proyecto de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca a 24 de abril de 2024



Wilson Diego Alvarez Abril

0103243457